

# PIENIMUOTOISEN BIOKAASUREAKTORIN VALMISTAMINEN JA SEN HYÖDYNTÄMINEN

Tuomas Hyvönen  
Tero Rönkkö

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



**Savonia**  
ammattikorkeakoulu



Koulutusala Luonnonvara- ja ympäristöala			
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Tuomas Hyvönen ja Tero Rönkkö			
Työn nimi Pienimuotoisen biokaasureaktorin valmistaminen ja sen hyödyntäminen			
Päiväys	1.4.2011	Sivumäärä/Liitteet	50+5
Ohjaaja(t) Teija Rantala ja Jarkko Partanen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Koivulan ja Lammasahontila			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Biokaasu on hapettomissa olosuhteissa syntynyttä kaasua, jonka mikrobit ovat muodostaneet orgaanisista aineksista. Biokaasu sisältää runsaasti metaania, jonkin verran hiilidioksidia ja pieniä määriä rikkiyhdisteitä. Biokaasuprosessi voidaan käsitellä joko psykrofiilisessä (0-15 °C), mesofiilisessä (15–45 °C) tai termofiilisessä (50–75 °C) lämpötilassa. Näissä kaikissa on erilaiset bakteerikannat, prosessi on sitä kiivaampi, mitä lämpimämpi prosessi on. Yleisin lämpötila on mesofiilinen, koska sillä on hyvä kaasuntuotanto ja helppo hallittavuus. Kaasu on uusiutuva biopolttoaine, jota tavallisimman hyödynnetään sähkön- ja lämmöntuotannossa. Biokaasua voidaan verrata ominaisuuksiltaan maakaasuun.</p> <p>Biokaasua voidaan tuottaa biokaasureaktoreilla. Reaktorit ovat useimmiten jatkuvatoimisia ja –sekoittesia. Tällöin materiaali pumpataan reaktoriin ja samalla sitä otetaan saman verran myös pois, jolloin massan määrä pysyy vakaana. Sen etuja on syötteiden lisäämisen automatisointi ja suhteellisen vakaa kaasuntuotto. Toinen reaktorityyppi on panosreaktori, joka täytetään ja tyhjenetään tasaisin väliajoin, normaalisti 4-6 viikon välein. Sen etuina on helppohoitoisuus prosessin aikana ja haittana suhteellisen hidas kaasuntuoton käynnistäminen ja se on työläs tyhjentää.</p> <p>Suomessa biokaasua tuotetaan usein kaatopaikoilla, isoissa biokaasulaitoksissa ja kasvavissa määrin maataloilla. Usein raaka-aineena ovat orgaaniset jätteet, kuten elintarvikejäte tai lanta. Kiinassa ja Intiassa sen sijaan reaktorit ovat usein pienikokoisia, muutaman kuution kokoisia säiliöitä maan alla. Ne ovat rakenteeltaan ja toiminnaltaan hyvin yksinkertaisia ja ne saavat lämpönsä lämpimistä luonnon olosuhteista. Lisäksi ne ovat hyvin edullisia. Tästä innostuneena rakensimme oman biokaasureaktorin, joka soveltuu myös Suomen olosuhteisiin.</p> <p>Reaktorimme on tilavuudeltaan 200 litraa, ja se on valmistettu vanhasta lämminvesivaraajasta. Reaktorissa on ulkoinen sähkölämmitys ja se on toiminnaltaan jatkuvatoiminen. Reaktorimme toimii termofiilisesti ja se voi käsitellä vuodessa lantaa 1475 kilogrammaa ja säilörehua 511 kg. Jos reaktori täydellä teholla ympäri vuoden, lannasta voitaisiin saada metaania 17,6 m<sup>3</sup> ja säilörehulla 35 m<sup>3</sup> metaania. Reaktorin lämmityskustannukset ovat suuremmat kuin siitä saatavan kaasun tuotot, joten laitteen toiminta ei ole kannattavaa.</p>			
<p>Avainsanat</p> <p>Biokaasu, valmistaminen, hyödyntäminen, metaani, biokaasureaktori</p>			

Field of Study Natural Resources and the Environment			
Degree Programme Degree Programme in Rural Development			
Author(s) Tuomas Hyvönen and Tero Rönkkö			
Title of Thesis Making and using of small scale biogas digester			
Date	1.4.2011	Pages/Appendices	50+5
Supervisor(s) Teija Rantala and Jarkko Partanen			
Project/Partners Koivula's and Lammasaho's farms			
<p><b>Abstract</b></p> <p>Biogas has been formed in anaerobic conditions. Microbes make the gas from organic material. Biogas contains lots of methane, a little amount of carbon dioxide and some sulfur compounds. Biogas process can be handled either psychrophilic (0-15 ° C), mesophilic (15-45 ° C) or thermophilic (50-75 ° C). These have different bacterial bases. The warmer the temperature, the more active the biogas process is. The most common temperature is mesophilic, because it has a good gas production and it is easy to handle. Biogas is a renewable biofuel, which is used for making electricity and heat. Biogas can be compared in its features to natural gas.</p> <p>Biogas can be made in biogas reactors. Commonly reactors are working full time and these are mixed all the time. The material is pumped into the reactor and at the same time the reactor gives out the same amount, while the amount of material is stable. The benefits are that materials feeding can be automated and gas producing is steady. The other reactor type is an input reactor, which is filled and emptied at regular times, normally every 4-6 weeks. It is easy to use during the process, but the gas production is quite slow and the reactor is hard to empty.</p> <p>In Finland biogas is often produced in landfills, big biogas plants and a growing number in farms. Usually raw materials are organic wastes like food waste or manure. In China and India reactors are usually small scale. The volumes of the reactors are about a couple of cubic meters and these are placed underground. These have been built in a simple way and are simple to use. Nature warms these up and these are also cheap to build. Inspired by this we decided to build our own biogas digester which can work in natural Finnish conditions.</p> <p>The volume of our digester is 200 liters and it has been built using an old water heater. The reactor is electrically heated and it's working full time. The reactor's temperature is thermophilic and it can handle 1475 kilogram manure per year and 511 kg of silage. If our reactor works all year with a maximum amount of manure, it can produce 17,6 m<sup>3</sup> methane and with silage 35 m<sup>3</sup>. The reactor's heating costs are more than income from the gas. It means that using a digester is not profitable in an economic sense.</p>			
<p><b>Keywords</b></p> <p>Biogas, producing, using, methane, biogas reactor</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
2	TUTKIMISMENETELMÄ.....	9
3	BIOKAASU JA LAITTEISTOTYYPIT .....	11
3.1	Muodostuminen ja koostumus .....	11
3.2	Biokaasun syntyminen.....	12
3.3	Prosessin olosuhteet .....	14
3.3.1	Lämpötila.....	14
3.3.2	pH ja ammoniakki inhibitio .....	14
3.3.3	Kuiva-ainepitoisuus (Total Solids, TS) .....	15
3.4	Biokaasuprosessin lopputuotteen laatu ja ominaisuudet.....	15
3.5	Reaktortyytit.....	16
4	TARVITTAVAT LUVAT JA SOPIMUKSET.....	18
4.1	Laitoshyväksyntä .....	18
4.2	Rakennus- tai toimenpidelupa .....	18
4.3	Ympäristölupa.....	18
4.4	Sopimukset sähkö- ja verkkoyhtiöiden kanssa.....	19
4.5	Räjähdyssuojausasiakirja .....	20
4.6	Pelastussuunnitelma.....	20
4.7	Kemikaali-ilmoitus.....	20
4.8	Omavalvontasuunnitelma .....	20
4.9	Lannan käsittelyvaatimukset.....	21
4.10	Pienen reaktorin tarvitsemat luvat.....	22
5	LAITTEISTON RAKENTAMINEN .....	23
5.1	Maatilakokoluokan biokaasureaktori ja sen kannattavuus.....	23
5.2	Omarakenteinen pieni biokaasureaktori.....	27
5.2.1	Reaktorin rakennusmateriaalit.....	27
5.2.2	Toimintaperiaate.....	27
5.3	Rakennusprosessi .....	29
5.4	Tutkimustuloksia.....	35
5.5	Mitä tehtäisiin toisin .....	36
6	LAITTEISTON HYÖDYNTÄMINEN .....	38
6.1	Laskelmat .....	38
6.1.1	Syötettävä määrä .....	38
6.1.2	Biokaasun tuotto.....	39
6.1.3	Viipymäaika (HRT = Hydraulic retention time) .....	41
6.2	Lanta-analyysi .....	42
6.3	Kustannuslaskelma.....	43

7 PÄÄTÄNTÖ.....	46
-----------------	----

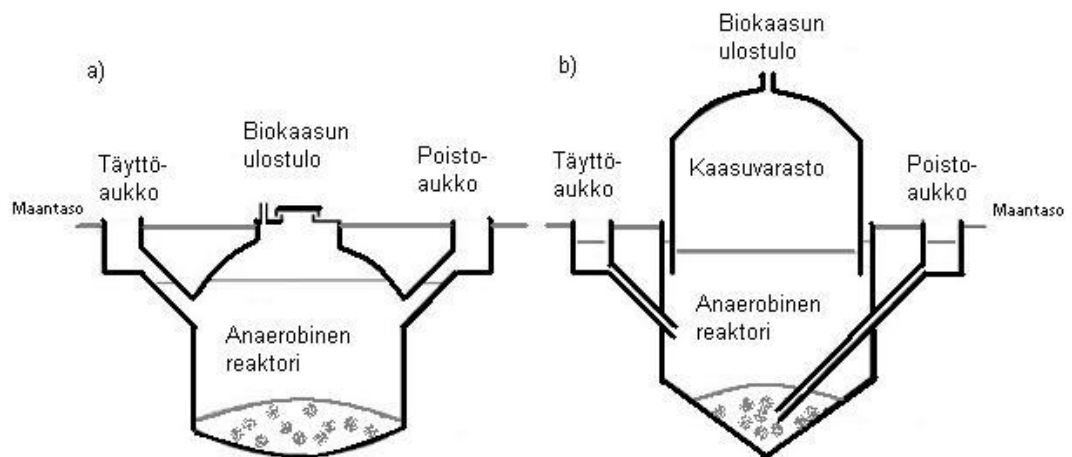
## LIITTEET

- Liite 1 Tekninen piirros reaktorista
- Liite 2 Techopoliksella tehtyjen kokeiden tulokset
- Liite 3 Lanta-analyysi syötetystä lannasta
- Liite 4 Lanta-analyysi läpikäyneestä lannasta

# 1 JOHDANTO

Kiinassa, Nepalissa ja Intiassa sijaitsee miljoonia hyvin yksinkertaisella tekniikalla olevia perhekokoluokan muutaman kuution kokoisia biokaasulaitoksia. Syötteinä käytetään ihmisten ja eläinten lantaa sekä kotitalousjätteitä. Saatua kaasua hyödynnetään ruoan valmistuksessa ja valaistuksessa. Nämä reaktorit ovat hyvin yksinkertaisia, halpoja rakentaa, helppokäyttöisiä ja ne voidaan tuottaa paikallisista materiaaleista. Yleensä niissä ei ole hallintajärjestelmiä, eikä prosessille ole erillistä lämmitystä, joten reaktio tapahtuu matalassa (0-15 °C), eli niin sanotusti psykrofiilisessa lämpötilassa. Tämän tyyppiset reaktorit ovat huomattavasti Suomen ilmastoa lämpimimmissä olosuhteissa ja syötteiden viipymäaika on pitkä. (Al Seadi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008, 31.)

Näistä innostuneena ajattelimme, että miksei Suomessa voida valmistaa samanlaisia reaktoreita edullisesti. Suomessa olosuhteet ovat erilaiset, joten juuri samanlainen malli ei tulisi toimimaan kylmyyden vuoksi kuin osan vuodesta. Ajattelimme kehittää omavalmisteisen pienen reaktorin, joka toimisi myös Suomen kylmissä oloissa. Suurena innoitteena toimivat myös Internetissä nähdyt videot omavalmisteisista reaktoreista.



KUVA 1. Kiinalainen (a) ja intialainen reaktori (b) (Al Seadi ym. 2008, 31)

Kuvassa yksi on kiinalaistyyppinen (a) maanalainen reaktori, yleensä kooltaan 6-8 m<sup>3</sup>. Toiminnaltaan nämä ovat puolijatkuvia, joihin syötteitä lisätään kerran päivässä,

ja samalla sitä tyhjennetään saman verran. Tällöin reaktorin massa sekoittuu. Reaktorissa ei ole erillistä sekoitinta, joten massat saostuvat reaktorin pohjalle ja se on tyhjennettävä 2-3 kertaa vuodessa. Viidesosa jätteestä on jätettävä bakteeritoiminnan ylläpitämiseksi reaktoriin. Intialaistyyppinen reaktori (Kuva 1 b) on muuten samanlainen verrattuna kiinalaistyyppiseen, mutta erona ovat tyhjennysputken paikka ja kaasuvarasto. (Al Seadi ym. 2008, 31.)

Haemme biokaasureaktorillemme intialaistyyppistä toimintamallia. Merkittävä ero tulee olemaan reaktorin lämmityksen kannalta se, että reaktoriamme lämmitetään sähköön voimin. Reaktorin sijoituspaikka tulee olemaan maan päällä, kun intialainen reaktori on sijoitettu maan alle. Intialaisessa reaktorissa maa eristää lämmön haihtumista, kun meidän reaktorissa sama hoituu eristysvillan ja styroksin avulla. Reaktorimme tulee olemaan rakenteeltaan erilainen, mutta toiminnaltaan samanlainen.

Pyrimme rakentamaan reaktorimme edullisesti. Suomessa maatilakokoluokan biokaasulaitokset maksavat laitetoimittajan ja laitoksen koosta riippuen 250 000–350 000 euroa. (Hämäläinen & Tukia 2007, 15.) Investointituilla saadaan kuitenkin rakennuskustannuksia pienemmiksi, biokaasulaitokselle avustusta voidaan saada jopa 15 prosenttia (Maaseutuvirasto 2011, 2).

Tässä opinnäytetyössä kerromme yleisesti biokaasusta, sen muodostumisesta ja lopputuotteiden ominaisuuksista. Käymme läpi myös mitä lupia vaaditaan biokaasulaitteiston rakentamiseen Suomessa. Kerromme rakentamamme yksinkertaisen biokaasulaitteiston toimintatavan ja miten rakensimme sen. Käsitlemme myös maatilakokoluokan reaktoreita. Mietimme, miten voimme hyödyntää laitteistoamme käytännössä ja miten voisimme tehdä reaktorin toimivammin.



## 2 TUTKIMISMENETELMÄ

Meidän työemme on luonteeltaan toiminnallinen opinnäytetyö, jossa yhdistetään sekä teoria että käytäntö. Opinnäytetyössä on teoreettista tiedon hankintaa, tutkimusmenetelmien käyttöä sekä myös käytännön tuotoksen tekemistä. Näistä seuraa myös opinnäytetyön kirjallinen raportti, joka sisältää tiedon hankintaa, työskentelymenetelmiä sekä tuotoksen valmistumista. Toiminnallisen opinnäytetyössä on ominaista, että siinä syntyy jonkinlainen tuotos, kehitetään uutta toimintatapaa, – mallia tai tuotteita. Tällainen on fyysisesti valmistettava tuotos, joka voi olla ammatilliseen käyttöön tarkoitettua ohjeistusta, tapahtuman järjestäminen tai esimerkiksi kirja tai portfolio. (Vilka & Airaksinen 2009, 9.)

Meidän opinnäytetyön fyysinen tuotos on biokaasureaktori, jonka valmistimme omin käsin kierrätysmateriaalista käytännön tarpeiden mukaan. Aloitimme valmistamisen huolellisella suunnittelulla, jotta itse rakennusvaihe sujuisi mutkitta. Saadessamme käyttökokemuksia voimme tehdä tutkimuksia käytännön toimivuudesta. Toiminnallisen opinnäytetyön luonteeseen voi kuulua tutkimustyö. Tuotoksen valmistaminen ei onnistu ilman taustatietoja. Toiminnallisen opinnäytetyön tutkimustyö sisältää tuotteen toteutustavan, johon kuuluu tiedon hankinta- ja toteutuskeinot. Tutkimusmenetelmä riippuu tapauksesta. Yleensä siinä riittää tekemistä jo pelkän aineiston hankinnassa (Vilka & Airaksinen 2003, 56–57.)

Toiminnallisen opinnäytetyön tutkimusmenetelmät eivät paljon poikkea tutkimuksellisesta opinnäytetyöstä. Suurin ero on lähinnä opinnäytetyön laajuudessa ja tarkkuudessa. Toiminnallisessa opinnäytetyössä ei tehdä varsinaista tutkimusta vaan pikemminkin selvitys tutkittavasta asiasta. Toiminnallisen opinnäytetyön selvityksen tarkoitus on antaa lisätietoa aiheesta ja näin ollen se on vain yksi tiedon hankinnan apuvälineistä. Työn tarkoitus ei ole tutkia ja analysoida saatuja tuloksia niin syvästi verrattuna tutkimukselliseen opinnäytetyöhön. (Vilka & Airaksinen 2003, 57.)

Tämän opinnäytetyön tiedon hankintana on käytetty asiantuntijoiden aineistoja sekä haastatteluja. Suurin osa tiedosta on hankittu valmiita aineistoja hyödyntäen ja lisäksi ohjaava opettajamme Teija Rantala on opastanut meitä kokeissa. Reaktorin malli on kehitelty hyödyntäen jo käytössä olevien reaktoreiden toimintaperiaatteita ja haastatteleamalla alalla työskenteleviä. Olemme sivistäneet itseämme biokaasuaiheilla teemapäivillä sekä tilakäynneillä.

Suoritamme tutkimustamme laskelmien avulla, joita teemme teoreettisten ja käytännön lukujen pohjalta. Teoreettiset luvut laskemme laskukaavojen avulla meidän reaktorillemme. Käytännön luvut tulevat olemaan meidän kokeemme pohjalta. Aioimme laskea paljonko reaktorimme voi käsitellä materiaaleja ja paljonko tällaisella määrällä voi saada biokaasua. Laskemme myös paljonko teoriassa olisi syntynyt biokaasua syöttämällämme määrällä lantaa ja rehua. Laskemme myös kyseisten määrien viipymäajat, jotka tarkoittavat syötetyn materiaalin viipymistä reaktorissa.

### 3 BIOKAASU JA LAITTEISTOTYYPIT

#### 3.1 Muodostuminen ja koostumus

Biokaasua muodostuu anaerobisissa eli hapettomissa olosuhteissa erilaisten mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta. Hajotuksen tuloksena muodostuu runsaasti metaania sisältävää biokaasua sekä erinomaisesti lannoitekäyttöön soveltuvaa orgaanista hajotusjäännöstä. (Esite, Biokaasu 2008.) Kaasu on väritöntä sekä se on myös 20 prosenttia kevyempää kuin ilma. Sen syttymispiste on noin 650–750 celsiusastetta ja palavan liekin väri on sininen. (Raimovaara 2004, käsitteet.)

Biokaasu on kaasuseos, joka sisältää 55–75 % metaania ( $\text{CH}_4$ ) ja 25–45 % hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ) sekä hyvin pieninä pitoisuuksina mm. rikkiyhdisteitä (Taulukko 1). Biokaasu on uusiutuva biopolttoaine ja energianlähde, jonka ympäristöhyödyt ovat merkittävät. Tavallisimmin biokaasua hyödynnetään sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä ajoneuvojen polttoaineena. (Esite, Biokaasu 2008.)

TAULUKKO 1. Biokaasulaitoksen kaasun keskimääräinen koostumus (Suomen biokaasuyhdistys 2008)

Aine	Prosentit %
Metaani, $\text{CH}_4$	55 - 75
Hiilidioksidi, $\text{CO}_2$	25 - 45
Hiilimonoksidi, CO	0 – 0,3
Typpi, $\text{N}_2$	1 - 5
Vety, $\text{H}_2$	0 – 3
Rikkivety, $\text{H}_2\text{S}$	0,1 – 0,5
Happi, $\text{O}_2$	jälkiä

Biokaasua muodostuu jatkuvasti luontaisesti kosteikoissa, vesistöjen pohjakerroksissa ja eläinten suolistossa. Biokaasun tuottamiseen on useita erilaisia teknisiä vaihtoehtoja, kuten tarkoitukseen rakennetut biokaasureaktorit ja kaatopaikoilla biokaasun keräys pumppaamalla. (Esite, Biokaasu 2008.)

Biokaasua voidaan tuottaa useista eri eloperäisistä orgaanisista materiaaleista. Eläimen lanta on hyvä perusmateriaali biokaasuprosessiin, koska se sisältää useimpia mikrobien tarvitsemia ravinteita ja sillä on pH:n vaihteluja tasoittava korkea puskurointikyky. Sen biokaasuntuottopotentiaali on sen sijaan melko alhainen, noin 15–25 kuutiota biokaasua tonnista märkää jätettä. Tilakohtaisen biokaasulaitoksen kannattavuuden kannalta on tärkeää, että käytettävissä on lisämateriaaleja, kuten kasvibiomassaa. Myös esimerkiksi teurastamo- ja elintarviketeollisuuden jätteet ovat prosessiin hyvin soveltuvia, koska niillä on noin 10 kertaa parempi metaanintuottopotentiaali. Tilan ulkopuolisten materiaalien käyttö prosessissa tosin vaatii tarkempaa käsittelyä. (Luoma, Peltonen, Helin & Teräväinen 2006, 69.)

### 3.2 Biokaasun syntyminen

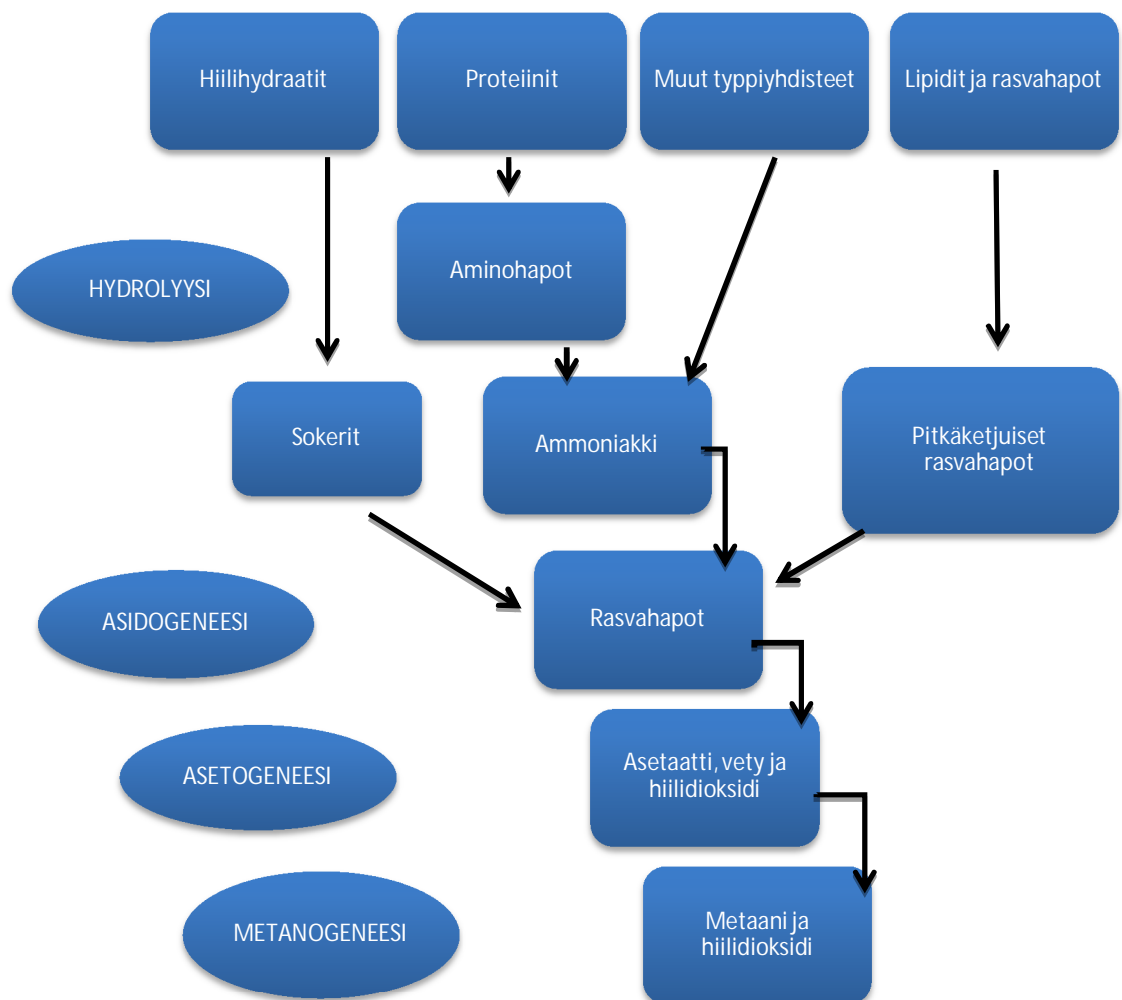
Biokaasun syntyä voidaan setviä kaksi-, kolme- tai nelivaiheisena prosessina. Prosessien erot tulevat bakteerityyppien mukaan. Kaksivaiheisessa biokaasun syntymisessä kaasun muodostus voidaan mieltää kahdessa erilaisessa vaiheessa, jolloin siinä on kaksi eri bakteerikantaa. Nämä bakteerit ovat heterotrofisia eli ne tarvitsevat toimintaansa varten erilaisia orgaanisia yhdisteitä, joista ne ottavat tarvitsemansa ravinteen kuten hiilen ja energian. Samalla käyttäessään ravintoa, ne hajottavat jättemateriaalia. (Kiviluoma-Leskelä 2010, 25–26.)

Kaksivaiheisen prosessin ensimmäisessä vaiheessa biomassan monimutkaiset orgaaniset yhdisteet hajoavat yksinkertaisimmiksi yhdisteiksi happoa tuottavien bakteerien johdosta. Tämä vaihe on nimeltään happokäyminen, jonka seurauksena syntyy muun muassa hiilidioksidia ja vettä. Toisessa vaiheessa metaanibakteerit hyödyntävät ensimmäisessä vaiheessa syntyneitä lyhytketjuisia happoja. Tätä kutsutaan metaanikäymiseksi. Metaanibakteerit eivät siedä happea, joten pienikin määrä happea voi estää bakteerin toiminnan ja metaanin syntymisen. Metaanibakteeri syntyvät hitaasti ja niiden kasvuolosuhteet ovat tarkat, etenkin pH:n ja lämpötilan suhteen. Toisessa vaiheessa muodostuu metaania ja hiilidioksidia sekä lisäksi hieman ammoniakkia, rikkivetyä ja vetyä, joista syntyy biokaasu. (Kiviluoma-Leskelä 2010, 25–26.)

Kun puhutaan kolmivaiheisesta mädätysprosessista, vaiheet ovat hydrolyysi, haponmuodostus ja metaanintuotto. Hydrolyysissä eloperäinen aines hajoaa rasvahapoiksi. Seuraavaksi rasvahapot hajoavat etikkahapoiksi ja kolmannessa vaiheessa metaanibakteerit hajottavat etikkahapon metaaniksi ja hiilidioksidiksi. (Valtion ympäristö-

hallinto 2011.) Kolmivaiheinen mädätysprosessi eroaa nelivaiheisesta siten, että haponmuodostus on jaettu kahteen eri osaan (Kiviluoma-Leskelä 2010, 25–26).

Nelivaiheisessa prosessissa biokaasua muodostuu neljässä eri vaiheessa, jotka ovat: hydrolyysi, asidogeneesi eli happokäyminen, asetogeneesi eli etikkahappokäyminen, metanogeneesi eli metaanikäyminen. Vaiheet on kuvattu kuviossa 2. Hydrolyysissä orgaanisten aineiden kiintoaineiden, kuten proteiinien, hiilihydraattien, rasvahappojen ja lipidien sekä muiden typpiyhdisteiden molekyylit hajoavat. Näistä syntyy muun muassa sokereita, aminohappoja ja pitkäketjuisia rasvahappoja. Asidogeneesissä sokerit, aminohapot ja pitkäketjuiset rasvahapot muuttuvat haihtuviksi rasvahapoiksi haponmuodostajabakteerien toimesta. Kolmannessa vaiheessa eli asetogeneesissä syntyy vetyä, hiilidioksidia ja asetaattia. Viimeisessä vaiheessa eli metanogeneesissä metanogeenit tuottavat metaania ja hiilidioksidia. (Madigan & Martinko 2006.)



KUVIO 2. Anaerobinen hajotusketju

### 3.3 Prosessin olosuhteet

#### 3.3.1 Lämpötila

Biokaasuprosessia voidaan käsitellä joko psykoofiilisessä (0-15 °C), mesofiilisessä (15–45 °C, optimi noin 35–38 °C) tai termofiilisessä (50–75 °C, optimi noin 55 °C) lämpötilassa. Näissä prosesseissa ovat eri bakteerikannat. Psykoofiilisen käsittelyn etuna on se, että siinä ei tarvitse lämmittää mädätteitä, tosin mädätteen viipymäaika on pitkä (60 vuorokautta) ja kaasuntuotto on vähäistä. Tällaista lämpötilaa käytetään lähinnä lämpimissä maissa, isoissa lietelaguuneissa. (Raimovaara 2004, 4.)

Suurin osa Euroopassa olevista biokaasureaktoreista toimii mesofiilisella lämpötila-alueella. Sen etuihin kuuluu prosessin helppo hallinta ja suhteellisen hyvä kaasuntuotto. Reaktorin koot ovat käytännöllisempiä ja niiden lämpötalous on hyvä. Määdete ei myöskään viivy reaktorissa kovin kauaa, noin 20–30 vuorokautta. (Raimovaara 2004, 4.)

Termofiilisen lämpötilan etuihin kuuluu joutuva mädätysprosessi. Viipymäaika on noin 10 – 18 vuorokautta ja sen aikana myös patogeenit eli taudinaiheuttajat tuhoutuvat. Nopean prosessin vuoksi reaktorin koko voi olla pienempi verrattuna mesofiiliseen lämpötilaan saatikka psykoofiiliseen. Termofiilinen reaktio on myös hankala hallittava, koska se on herkkä lämpötilan vaihteluille, jopa asteenkin vaihtelu häiritsee mikrobitoimintaa. Lisäksi lämmityskustannukset ovat kovat. (Raimovaara 2004, 4.)

#### 3.3.2 pH ja ammoniakki inhibiitio

Reaktorin suotuisin happamuus olisi 6,5–7,5, jolloin mikrobien toiminta olisi optimaalisinta. Kuitenkin mikrobit voivat hajottaa hiilihydraatteja huomattavasti alhaisemmissa pH-lukemissa (5-6). Herkin vaihe happamuuden suhteen on metaanin muodostusvaihe. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 25.) Biokaasuntuotantoprosessin aikana haponmuodostajabakteerit muodostavat orgaanisia happoja, jos kuitenkin happoa syntyy liikaa, niin pH voi laskea alle viiden. Tästä seuraa reaktion pysähtyminen, koska metaanibakteerit eivät siedä niin alhaista happamuutta. (Raimovaara 2004, 5.)

Inhibitiolla käsitetään jonkun kemiallisen tai fysikaalisen tekijän haittavaikutusta biologiseen prosessiin. Se haittaa prosessin normaalia toimintaa ja etenkin biokaasuprosessissa laskee tai lopettaa biokaasun tuoton. Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) on yksi merkittävä inhibitoiva tekijä. Jos jätteet sisältävät runsaasti typpeä, voi ammoniakin osuus ammoniumtypestä kohota inhiboivalle tasolle. Normaalisti näiden välillä on tasapaino. Lämpötila ja pH vaikuttaa suuresti ammoniakin pitoisuuteen, siten että mitä korkeammalla tasolla ne ovat, sitä isompi osa ammoniumtypestä on ammoniakkia. Esimerkiksi pH:n kohotessa yhden yksikön verran seitsemästä kahdeksaan, ammoniakkia on kahdeksan-kertaisesti. Ammoniumtyypin kokonaispitoisuuden  $4 \text{ g} - \text{N} / \text{l}$  lehmälannassa on havaittu inhiboivan termofiilistä biokaasuprosessia. (Lehtomäki ym. 2007, 26).

### 3.3.3 Kuiva-ainepitoisuus (Total Solids, TS)

Kuiva-ainepitoisuuden yksikkönä on yleensä prosentti. Hapettomat hajotusprosessit voidaan jakaa märkä- (<15 TS- %) ja kuivaprosesseihin (30–50 TS- %) niiden kiintoainepitoisuuden mukaan. Pitoisuus vaikuttaa suuresti laitosten ominaisuuksiin, kuten kokoon ja reaktorityyppiin. (Raimovaara 2004, 6.) Valtaosa biokaasulaitteistoista on märkäprosesseihin perustuvia (Mykkänen 2008, 18).

### 3.4 Biokaasuprosessin lopputuotteen laatu ja ominaisuudet

Biokaasuprosessissa käsiteltyjä materiaaleja kannattaa hyödyntää pelloilla vähentyvän mineraalilannoitteiden käytön vuoksi, koska prosessin läpikäyneiden materiaalien lannoitus- ja maanparannusominaisuudet ovat yleensä paremmat kuin käsittelemättömillä materiaaleilla. Hapettomassa käsittelyssä materiaalin orgaanisesta aineksesta muodostuu metaania ja hiilidioksidia, mikä laskee aineen hiili-typin suhdetta. Lisäksi orgaanisesta tyypestä osa muuttuu ammoniumtypeksi ( $\text{NH}_4$ ), jonka kasvit voivat ottaa suoraan hyödynnettäväksi. Myös muut lannoitusvaikutukseltaan tärkeät aineet saadaan kokonaan talteen, koska ne eivät muutu prosessin aikana. Näihin aineisiin luokituvat muun muassa kalium (K), fosfori (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg) ja mikroravinteet. (Luoma ym. 2006, 71.)

Anaerobisen eli hapettoman käsittelyn läpikäyneiden materiaalien kuiva-ainepitoisuus pienenee ja viskositeetti nousee, mikä parantaa lopputuotteen juoksettavuutta ja tuote on myös tasalaatuisempaa. Käsitellyt materiaalit imeytyvät suoraan maahan hajui-

neen nopeasti levityksen jälkeen, mikä vähentää haihtumisen ja vesistöihin huuhtoutumisen riskiä. Orgaaniset lannoitteet nostavat maaperän humuspitoisuutta eivätkä köyhdytä maaperää mineraalilannoitteiden tavoin. Anaerobinen käsittely vähentää lannan fytotoksisten eli kasvimyrkyllisten yhdisteiden määrää, hygienisoi materiaaleja ja tuhoaa rikkakasvien siemeniä ja tuholaisia. (Luoma ym. 2006, 71.)

### 3.5 Reaktorityypit

Useimmiten käytetään jatkuvatoimista ja -sekoitteista reaktorityyppejä. Tällöin materiaali pumpataan reaktoriin ja samalla sitä otetaan saman verran myös pois, jolloin massan määrä pysyy vakana. Sen etuja ovat esimerkiksi syötteiden lisäämisen automatisointi ja suhteellisen vakaa kaasuntuotto. (Lehtomäki ym. 2007, 34.)

Toinen reaktorityyppi on panosprosessi, jonka periaatteena on, että reaktori tyhjenetään ja täytetään kerta-annoksina. Yleensä eri materiaalit on sekoitettu keskenään, joka takaa tasaisen mikrobikannan. Panosreaktoria täytetään ja tyhjenetään tasaisin väliajoin, esimerkiksi 4-6 viikon jaksoissa. Sen etuna on sen helppohoitoisuus prosessin aikana. Työllistävä vaikutus ajoittuu täyttöön ja tyhjennykseen. Haittana on kaasuntuoton hidas käynnistäminen, joka vie useita päiviä. Kaasuntuoton varmistamiseksi sijoitetaan useita panosprosessilla toimivia reaktoreita rinnakkain, joissa prosessit ovat eri vaiheissa. (Lehtomäki ym. 2007, 34.)

Biokaasuprosessit ovat yksi- tai monivaiheisia. Hapettomassa tilassa tapahtuva hajoaminen, eli anaerobinen hajoaminen, on monivaiheinen prosessi. Sen vaiheissa on erilaisia mikrobeja, joilla on omat optimiolosuhteensa. Monivaiheisen prosessin tarkoituksena on tehostaa hajotusta ja lisätä kaasuntuottoa. Järjestelmä toimii siten, että hajotuksen eri vaiheet on sijoitettu eri reaktoreihin, joille kullekin on tehty optimaaliset olosuhteet oman vaiheensa kannalta. (Lehtomäki ym. 2007, 34.)

Kaksivaiheisessa prosessissa pyritään saamaan ihanteelliset olosuhteet ensimmäiseen reaktoriin, jolloin hydrolyysi ja happokäyminen voisivat tapahtua optimaalisimmissa olosuhteissa. Toisessa reaktorissa on taas optimaaliset olosuhteet metaanin muodostumiselle edellisen vaiheen mädätystuotteista. Monivaiheinen prosessi voidaan myös suorittaa yhdessä reaktorissa, jolloin nostetaan kokonaisviipymäaika. Tällöin syötettävän materiaalien läpivirtausriski pienenee, koska lyhyemmällä viipymäajalla materiaali voi virrata suoraan ulos reaktorista läpikäymättä prosessia. Tällöin



kaasuntuotto on matalampi ja lopputuotteen hygieenisuus on heikompi. (Lehtomäki ym. 2007, 34.)

## 4 TARVITTAVAT LUVAT JA SOPIMUKSET

Biokaasureaktorin suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon tarvitaan erilaisia lupia. Seuraavaksi käymme läpi, mitä erilaisia lupia tarvitaan. Kerromme myös mistä niitä saa ja mitä niiden eteen tulee tehdä. Lopuksi selvitämme mitä lupia meidän oma biokaasureaktori tarvitsee.

### 4.1 Laitoshyväksyntä

Mikäli laitoksella aiotaan käsitellä tilan ulkopuolisia jätejakeita ja laitoksen lopputuotetta markkinoidaan, tarvitaan silloin laitoshyväksyntä Elintarviketurvallisuusvirasto Eviralta. Jos lopputuote markkinoidaan lannoitteena, tuotteen tulee täyttää lannoitelainsäädännön laatuvaatimukset. (Taavitsainen 2006, 14.) Laitoshyväksynnän edellytyksenä on, että laitoksella tuotetaan turvallista ja käyttöön soveltuvaa lannoitetta (Elintarviketurvallisuusvirasto 2011).

### 4.2 Rakennus- tai toimenpidelupa

Biokaasulaitoksilla täytyy olla maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukainen rakennuslupa tai toimenpidelupa. Kun rakennepiirustukset on tehty, liitetään ne lupahakemuksen liitteeksi. Laitoksen valmistuttua sille tulee tehdä loppukatselmus, ennen sen käyttöönottoa. Katselmukseen voi tarvittaessa osallistua pelastusviranomainen. Rakennusvalvonta voi kuitenkin hyväksyä laitoksen käyttöönoton jo ennen loppukatselmusta, mutta vain erikoistapauksissa. (Taavitsainen 2006, 15.) Rakennus- ja toimenpideluvan myöntää paikallinen rakennusvalvontaviranomainen (Viranomaisluvat, 2011).

### 4.3 Ympäristölupa

Ympäristösäädännön (26/2003, 169/2000) mukaan biokaasulaitos tarvitsee ympäristöluvan. Mikäli laitoksella käsitellään jätteenä luokiteltuja materiaaleina, laitos tulkitaan jätteen laitospaiseksi käsittelijäksi. Silloin laitoksen toiminta vaatii ympäristöluvan. Käytettäessä pelkästään lietettä laitoksen materiaalina, voidaan tapauskohtaisesti ympäristölupa liittää eläinsuojan luvan yhteyteen. (Taavitsainen 2006, 15.) Ym-

päristöluvan voi saada aluehallintovirastosta ja kunnan ympäristösuojeluviranomaiselta (Ympäristöministeriö, 2011).

Biokaasulaitosta ei yleensä saa laittaa toimintaan ennen kuin ympäristölupa on lainvoimainen. Lupahakemus tulee laittaa vireille riittävän ajoissa, koska luvan käsittelyaika on noin 8 kuukautta. Lupa toiminnan aloittamiseen ennen lupapäätöksen lainvoimaisuutta voidaan myöntää vain ympäristösuojelulain määritellyistä erityisyistä. (Taavitsainen 2006, 15.)

Ympäristövaikutusten arviointimenettely – lain tarkoituksena on arvioida hankkeen tai toiminnan aiheuttamia välittömiä tai välillisiä vaikutuksia Suomen tai ulkomaiden alueella: muun muassa ihmisten ja eläinten terveyteen ja elinoloihin sekä maaperään niin kuin yhdyskuntarakenteeseen. (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 10.6.1994/468.) Biokaasulaitokseen sovelletaan ympäristövaikutusten arviointimenettely lakia, jos polttoaineteho on vähintään 300 megawattia ja/tai siellä käsitellään vähintään 20 000 tonnia jätettä vuodessa (Jyväskylän yliopisto 2008).

#### 4.4 Sopimukset sähkö- ja verkkoyhtiöiden kanssa

Mikäli biokaasulaitos tuottaa sähköä, tulee sähköverkkoon liittymisestä sopia paikallisen verkonhaltijan kanssa. Verkkoon liittyminen on pakollista, vaikka sähköä ei siirretäisi verkkoon, koska laitoksen sähköntuotantoyksikkö tarvitsee verkkoa tahdistukseen. (Taavitsainen 2006, 16.)

Kaikilla tiloilla on liittymissopimus paikallisen verkkoyhtiön kanssa, mutta se tulee tarkastaa liittäessä biokaasulaitosta verkkoon. Muutoksia tulee muun muassa johdotuksiin ja noususulakkeen kokoon laitoksen sähköntuotannosta riippuen. (Taavitsainen 2006, 16.)

Verkkosopimus tehdään paikallisen verkkoyhtiön kanssa. Sopimuksessa sovitaan sähkön siirrosta verkkoon ja sähkön ostosta. (Taavitsainen 2006, 16.)

Myyntisopimus tehdään sähkön myyntiyhtiön ja sähkön myyjän kesken. Sähkön tuottaja voi halutessaan kilpailuttaa sähkön myyntiyhtiöt ja myydä tuottamansa sähkön valitsemalleen myyntiyhtiölle. Yhtiö toimii tilalla tuotetun sähkön ostajana sekä myös sähkön myyjänä. (Taavitsainen 2006, 16.)

#### 4.5 Räjähdyssuojausasiakirja

Maataloussektorin biokaasulaitokset tulkitaan toimijoiksi, joiden on laadittava räjähdysuojausasiakirja. Biokaasulaitokset tuottavat räjähdysaltista metaania, joka kipinän saatuaan syttyy tuleen. Suljettuun tilaan vuodettuaan metaani aiheuttaa räjähdysvaaran. Räjähdyssuojausasiakirjan laatii joko toiminnanharjoittaja tai laitetoimittaja. Asiakirjaa ei tarvitse toimittaa viranomaiselle. (Taavitsainen 2006, 16.)

#### 4.6 Pelastussuunnitelma

Tuettavien uudisrakennushankkeiden ja niihin verrattavissa olevien peruskorjauskohteiden tulee tehdä pelastuslain mukainen pelastussuunnitelma. Kohteissa, joissa pelastussuunnitelma on tehty eläinsuojalle, täydennetään se biokaasulaitoksen osalta. (Taavitsainen 2006, 17.) Valtionneuvoston mukaan maatilalle on tehtävä pelastussuunnitelma, joka tulee toimittaa paikalliselle pelastusviranomaiselle (Pelastussuunnitelma, 2011).

#### 4.7 Kemikaali-ilmoitus

Kemikaali-ilmoitus on tehtävä, jos yrityksessä luovutetaan kemikaaleja markkinoille tai käyttöön Suomeen. Yritys itse tekee sähköisen tai paperisen ilmoituksen, joka tallennetaan kemikaalituoterekisteriin. Ilmoitukseen ei ole virallista lomakepohjaa, mutta valmiita malleja on olemassa. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, 2011.)

#### 4.8 Omavalvontasuunnitelma

Jokainen elintarvikeyrittäjä on velvollinen lakisääteisesti laatimaan omavalvontasuunnitelman. Suunnitelman laajuus riippuu toiminnan moninaisuudesta, tuotteiden monipuolisuudesta ja niihin liittyvistä riskeistä. Suunnitelman pitää olla kirjallinen ja sen tulee olla ajan tasalla. Suunnitelma tulee tarkastuttaa viranomaisella, jolloin siitä tulee yrityksen omavalvontajärjestelmä. Suunnitelman tarkastaa kunnan valvontaviranomainen. (Elintarviketurvallisuusvirasto, 2011.)

#### 4.9 Lannan käsittelyvaatimukset

Lanta kuuluu eläinperäisiin sivutuotteisiin ja sen biokaasulaitoskäsittelyä ohjeistaa sivutuoteasetus (1069/2009). Asetuksen mukaan eläinperäiset sivutuotteet jaetaan kolmeen eri ryhmään niiden riskiluokan perusteella. (Taavitsainen 2006, 21.) Seuraavassa taulukossa nämä ryhmät esitetään.

TAULUKKO 2. Sivutuoteasetuksen mukainen eläinperäisten sivutuotteiden luokittelu (Luoma ym. 2006, 69.)

	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
<b>Materiaali</b>	Sivutuotteet, joissa on TSE-taudin vaara tai tuntematon riski. Myös sivutuotteet, jotka sisältävät kiellettyjen aineiden tai ympäristömyrkköjen jäämiä	Sivutuotteet, joissa on eläintautien riski (muiden kuin TSE-taudin) tai eläinlääkejäämien riski	Sivutuotteet, jotka on saatu ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä, joita ei kuitenkaan enää käytetä elintarvikkeena tai niiden raaka-aineina
<b>Käsittelyvaatimukset biokaasulaitoksissa</b>	Ei sallita käytettäväksi biokaasulaitoksissa	Sterilointi: 133 °C, 3 bar, 20 min, partikkelikoko < 50 mm	Hygienisointi: 70 °C, 60 min, partikkelikoko < 12 mm
<b>Esimerkkimateriaaleja</b>		Lanta, kuolleet tai teurastetut eläimet ja siipikarja	Elintarviketeollisuuden sivutuotteet, ruokajäte

Taulukko 2:sen mukaan eläinten lanta kuuluu aina luokkaan kaksi, mutta sen käsittelylle ei aseteta erityisiä vaatimuksia. Jos eläinlääkäri on havainnut lannassa vakavan tartuntataudin riskin, joudutaan lanta käsittelemään 2-luokan käsittelylaitoksessa. Muutoin terve lanta on ainut tuote, jota voidaan käsitellä pelkästään biokaasu- ja kompostointilaitoksissa ilman luokan 2 vaatimaa käsittelyä. Lannan käsittely tulee kuitenkin aina toteuttaa ympäristötukiehtojen ja nitraattiasetuksen mukaisesti. (Taavitsainen 2006, 22.) Mikäli laitoksella aiotaan käsitellä tilan ulkopuolelta tulevia jätteenä, kuten esimerkiksi elintarviketeollisuuden ruokajätteitä, tulee aines käsitellä riittävällä hygieniatasolla (Taulukko 2).

#### 4.10 Pienen reaktorin tarvitsemat luvat

Reaktorimme on tutkimuskäyttöön tarkoitettu ja siinä ei käsitellä maatilamme ulkopuolisia jätejakeita, eikä lopputuotetta markkinoida. Tällöin emme tarvitse Elintarviketurvallisuusviraston Eviran laitoshyväksyntää. Lopputuotetta ei markkinoida myytävänä lannoitteena, joten sen ei tarvitse täyttää lannoitelainsäädännön laatuvaatimuksia. (Elintarviketurvallisuusvirasto Evira, 2010.)

Rakennuslupaa reaktorimme ei myöskään tarvitse, sillä se on pieni ja liikuteltava. Rakennuslupa vaaditaan silloin, kun sitä varten joudutaan rakentamaan erillinen kiinteä rakennus. Varmistimme kaupunkimme palopäälliköltä Esko Laakkoselta puhelimitse reaktorimme räjähdyssuojasiasiakirjatarvetta. Emme tarvitse sitä, vaan hän kehotti meitä noudattamaan yleisiä hyviä turvallisuuskäytäntöjä testatessamme. Myöskään pelastussuunnitelmaa ei reaktorimme tarvitse. (Laakkonen 11.10.2010.)

Mikäli käsittelisimme yli 3 000 tonnia jätettä vuodessa reaktorissa, tarvitsisimme ympäristöluvan. Tiedustelimme lisälmen kaupungin ympäristösuojelupäällikkö Osmo Koivistoiselta ympäristöluvan ja muiden toimenpiteiden tarvetta reaktoriamme varten. Käsitlemme vähäisiä määriä jätettä kokeissamme, joten emme tarvitse ympäristölupaa. (Koivistoinen Osmo 11.10.2010.)

## 5 LAITTEISTON RAKENTAMINEN

Kerromme aluksi minkälainen on maatilakokoluokan biokaasureaktori ja perehdymme sellaisen kannattavuuteen. Sen jälkeen kerromme oman biokaasureaktorin rakennusmateriaaleista ja toimintaperiaatteesta. Lisäksi perehdymme itse rakennusprosessiin, jonka vaiheet näkyvät kuviossa 3.



KUVIO 3. Prosessikaavio

### 5.1 Maatilakokoluokan biokaasureaktori ja sen kannattavuus

Biokaasutuotannon prosessi alkaa tarvittavien materiaalien varastoinnilla, kuten esimerkiksi eläinten lanta varastoidaan raakalietesäiliöihin ja kasvibiomassat laakasiiloihin. Mikäli tilalla käytetään prosessiin tilan ulkopuolisia materiaaleja, tulee ne varastoida asianmukaisesti aineksen vaatimalla tavalla. (Luoma ym. 2006.)

Ulkopuoliset jakeet täytyy aina hygienisoida korkeassa kuumuudessa tai termofiilisessä prosessissa tautiriskien varalta. Käytettäessä karkeampia materiaaleja, kuten teurastamojäte, aines tulee murskata. Murskauksella materiaali saadaan hienom-

maksi, jolloin se hajoaa mikrobien käsittelyssä nopeammin ja paremmin. (Luoma ym. 2006.)

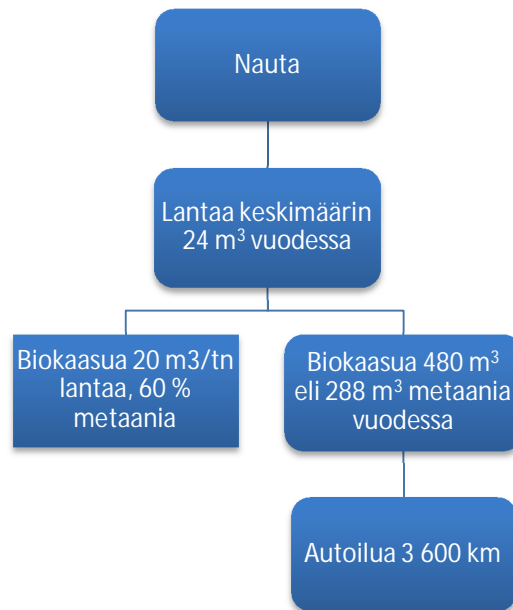
Navetasta lanta johdetaan syöttösäiliöön, johon voidaan lisätä muuta biomassaa. Muulla biomassalla voidaan käsitellä esimerkiksi pilaantunutta säilörehua tai käsiteltyjä teurastamojätteitä. Materiaalit sekoitetaan keskenään tasaiseksi lietteeksi. (Luoma ym. 2006.)

Syöttösäiliöstä liete johdetaan reaktoriin, joka on eristetty ja kaasutiiviillä hupulla katettu lietesäiliö. Reaktorissa liete lämmitetään ja sekoitetaan. Liete lämmitetään tarvittavan lämpöiseksi, yleensä 37 asteeseen, jotta mikrobitoiminta olisi mahdollisimman kiivasta ja kaasua syntyisi runsaasti. Käsitelty liete varastoidaan lietesäiliöön, joka on reaktorin kaltainen katettu säilö. Reaktorissa muodostunut biokaasu johdetaan kuvun alta joko suoraan käsiteltäväksi tai varastoon samaan lietesäiliöön käsitellyn materiaalin kanssa. (Luoma ym. 2006.)

Prosessin läpikäynyt liete varastoidaan katettuun lietesäiliöön. Liete on valmista lannoitevalmistetta, joka voidaan hyödyntää lannoitteena ja maanparannusaineena. Varastosäiliössä tapahtuu jälkikaasuuntumista, jolloin kaasua muodostuu vielä 10–15 prosenttia kokonaiskaasuntuotosta. Lietesäiliötä voidaan käyttää myös biokaasun varastona, josta kaasu otetaan myöhemmin käsiteltäväksi. (Luoma ym. 2006.)

Biokaasun maatilamittakaavan tuotannon kannattavuuden rajana pidetään 100 lypsy-lehmän tilaa, joka vastaa 140 nautayksikköä. Yksi lehmä tuottaa vuodessa  $24 \text{ m}^3$  lantaa (Kuvio 4) eli 140 naudan yksikkö tuottaisi 3 300 kuutiometriä lantaa vuodessa. Kuutiosta lantaa saadaan materiaalista riippuen noin 20 kuutiota biokaasua, josta metaania on noin 60 %. 140 nautayksikön lannasta saadaan biokaasun  $67\,200 \text{ m}^3$ , josta metaania  $40\,320 \text{ m}^3$ . Metaanin lämpöarvo on noin 10 kWh kuutiota kohden. (Hämäläinen & Tukia 2007, 15.)





KUVIO 4. Nauta energianlähteenä (Luoma ym. 2006)

Keskiverto henkilöauto kuluttaa sataa kilometriä kohden noin kahdeksan litraa polttoainetta. Yksi kuutio metaania vastaa yhtä litraa kevyttä polttoöljyä, joten 288 kuutiometaanilla pääsee autoillen 3 600 kilometriä (Lehtomäki ym. 2007, 45.)

Suomen tyyppitila on 26 nautayksikön tila, jolla vastaavat luvut olisivat: lantaa 624 m<sup>3</sup>, biokaasua 12 480 m<sup>3</sup> ja metaania 7 488 m<sup>3</sup> (Hämäläinen & Tukia 2007, 15). Tyyppitilan metaanintuotto on vain viidenneksen verran kannattavuuden rajana pidettävän tilan vastaavasta metaanintuotosta. On myös huomioitava lannan määrän vaihtelut muun muassa laiduntamisen vuoksi, jolloin osa lannasta jää laitumelle.

Biokaasulaitosinvestoinnin todellisia kustannuksia on vaikea määrittää, koska ne ovat aina tilakohtaisia. Karjatilaille rakennettaessa laitosta voidaan hyödyntää jo valmiita lietesäiliöitä jälkikaasuuntumisaltaina ja kaasuvärsästöina. Kustannusten arvioiminen on hankalaa, koska laitoksissa käytetään hyvin erilaisia tekniikoita kaasun hyödyntämiseen. Esimerkiksi tilan ulkopuolisten jätteiden käyttö lisäsyötteinä lisää laitoksen teknisiä vaatimuksia ja nostaa investointeja. Investointiarviot ovat hyvin karkeita. (Hämäläinen & Tukia 2007, 15.)

Maatilakokoluokan biokaasulaitokset maksavat laitetoimittajan ja laitoksen koosta riippuen 250 000–350 000 euroa. Tähän hintaan sisältyy muun muassa reaktori, generaattori ja kaasuvärsästo. Mikäli kaasu halutaan jalostaa tieliikennekäyttöön, tarvitaan laitokselle erilaista tekniikkaa. Kaasun jalostukseen tarvittavat kaasun puhdistus-

, jakelu- ja paineistuslaitteistot maksavat yhteensä noin 300 000 euroa. (Hämäläinen & Tukia 2007, 15.)

Laitosinvestointien hintaa alentavat merkittävästi erilaiset tuet, joita myönnetään ta-pauskohtaisesti eri tahoilta. Investointitukea voi saada vuonna 2011 biokaasulaitok-selle 15 prosenttia, korkotukea laitokselle voi saada 20 prosenttia ja korkotukilainaa 70 % hyväksyttävistä kustannuksista. Kyseiset prosenttiluvut ovat enimmäismääriä. (Maaseutuvirasto 2011, 2.)

Sähköntuotantotukea voi saada valtiolta sähköntuotantoon 4,2 euroa megawattitun-nilta. Tämän edellytyksenä on, että laitoksen sijainti ja verkkoliitäntä täyttävät vaati-mukset, laitos ei kuulu, eikä ole kuulunut syöttötariffijärjestelmään ja laitoksen on pi-dettävä yllä luotettavaa kirjanpitoa syötetyistä polttoaineista. Tukea ei saa, jos kalen-terivuonna tuotetaan alle 200 MWh, sähkönmarkkinahinta ylittää kalenterivuonna 76,6 euroa/MWh. Biokaasulla tuotetusta sähköstä voidaan säädä myös muuttuvaa tukea eli syöttötariffia. Syöttötariffi on 83,50 €/MWh, ja minimivaatimuksena on 100 kVA laitoksen nimellisteho. Laitos on tehty uusista osista ja se ei ole saanut valtiontu-kea. (Laki uusiutuville energiamuodoilla tuotetun sähkön tuotantotuesta 13.12.2010/1396.)

Biokaasulaitoksen kannattavuuslaskelmat perustetaan ostosähkön säästöön. Run-saan 100 nautayksikön maatila kuluttaa vuosittain noin 20 pientalon verran sähköä eli reilut 300 megawattituntia. Keskimäärin maatilat maksavat vuosittain sähköstä reilut 30 000 euroa. Biokaasulaitoksen sähkö- ja lämpötuotannolla voidaan korvata vuosit-tainen sähkönkulutus, jolloin laitosinvestointi saadaan maksettua takaisin noin kym-menessä vuodessa. (Jalonen 2008, 65.)

Biokaasulaitos tuottaa myös ylijäämäenergiaa, joka voidaan hyödyntää esimerkiksi viljan kuivauksessa, jalostamalla liikennepolttoaineeksi tai se voidaan myydä lä-hinaapureille. Laitoksen tuottamalla energialla voidaan säästää tilan muissa energi-ankustannuksissa tai energia myydään ja lyhennetään tuotolla investoinnin takaisin-maksun kuoletusaikaa. (Jalonen 2008, 65.)

## 5.2 Omarakenteinen pieni biokaasureaktori

### 5.2.1 Reaktorin rakennusmateriaalit

Rakentamamme biokaasureaktori on rakennettu kierrätysmateriaaleista. Reaktori on rakennettu trukkilavan päälle, jonka ansiosta se on helposti siirreltävässä. Reaktorisäiliönä toimii omasta käyttötarkoituksestaan poistunut 200 litran lämminvesivaraaja. Lämmitysteholtaan vesivaraajan ulkoiset lämmitysvastukset ovat 3 kilowattia, ja niitä varaajassa on kolme kappaletta. Lämpötila voidaan säädellä termostaatilla, jossa raja-arvot ovat 55–90 celsiusastetta. Virtanapeilla voidaan valita haluttu lämmitystehokkuus, koska ensimmäisellä saadaan kaksi vastusta toimintaan ja toisella saadaan kolmaskin toimimaan. Reaktori toimii kolmivaihevirralla. Kaasuvarastona toimii traktorin takarenkaan sisuskumi. Sisuskumin saimme kierrätystarvikkeena lisälmen LH-Osa Oy:ltä.

Kaasuletkuina toimivat mautiloiltamme löytyneet ylimääräiset kaasuletkun pätkät. Hanat, jolla ohjataan kaasunkulkua reaktorista varastolle ja polttimelle sekä lietteen tyhjennyshana, löytyivät niin ikään myös ylimääräisinä mautilan varastoista. Vesisuodattimena toimii käytöstä poistunut 30 litran AIV-happopullo. Täyttöputken jouduimme ostamaan LVI-liikkeestä. Reaktorin rungon puumateriaali ja eristysvilla saimme tilamme varastosta. Ulkovuorauksen tulleen styroksin hankimme rautakau-pasta. Kaasupoltin on lainassa kaasugrillistä.

### 5.2.2 Toimintaperiaate

Syöteputkesta laitetaan erilaiset jakeet reaktoriin. Biomassaa laitetaan reaktoriin sen verran, että ilmatilaa jää viidesosan verran, eli massaa tulee 160 litraa. Tällöin syöteputken alareuna on biomassan pinnan alapuolella, jolloin kaasu-hävikkiä ei pääse syntymään jakeita lisättäessä, eikä myöskään hapetta pääse anaerobiseen prosessiin. (Kiviluoma-Leskelä 2010, 26).

Biomassan määrää säädellään reaktorin alaosassa olevalla tyhjennyshanalla. Biomassan sekoittaminen tapahtuu mekaanisesti sekoitussauvalla syötteiden lisäyksen yhteydessä. Biomassan määrää tarkkaillaan syöteputkesta. Biomassaa lisätään reaktoriin kolmen päivän välein.

Lämmitys tapahtuu kolmen sähkövastuksen voimin. Niiden toimintaa säädellään kahden katkaisijan kautta. Ensimmäisellä katkaisijalla saadaan toimintaan kaksi vastusta, joista toinen on koko ajan toiminnassa ja toinen toimii termostaatin mukaan pitäen yllä 55 celsiusasteen lämpötilaa. Toisella virtanapilla saadaan kolmaskin vastus toimeen, mikäli haluamme koemielellä kokeilla reaktorin toimintaa korkeammilla lämpötiloilla.

Meidän reaktorimme toimii termofiilisella lämpötilan alueella. Termofiilisen lämpötilan etuna on se, että jätemateriaali hajoaa nopeammin ja näin ollen reaktorin tilavuus voi olla pienempi. Termofiilisen prosessin etuna on myös, että se saattaa tuottaa enemmän biokaasua, jolloin energiansaanto on suurempi mesofiiliseen verrattuna korkeammasta lämmitystarpeesta huolimatta. Näiden etujen edellytyksenä on, että termofiilisessä prosessissa käsitellään enemmän orgaanista ainesta esimerkiksi lantaa ja nurmirehua. (Blaschek, Ezeji & Scheffran 2010, 54–55.)

Reaktorin eristys pienentää lämpöhävikkiä ja lämmitystarvetta. Lasivillaa reaktorin ympärillä on noin 15 senttimetriä, ja lisäksi ulkovuoraus on 50 millimetrin styroksilla. Suurin osa lämmöstä haihtuu ylöspäin, tätä olemme ehkäisseet yläosan kaksinkertaisella styroksivuorauksella.

Hanalla voidaan säädellä kaasun virtaamista kaasuvaraan, josta se voidaan ohjata vesisuodattimeen. Vesisuodattimen jälkeen kaasu poltetaan polttimessa. Kaasu pitää puhdistaa ennen polttoa, jotta kaasusta saadaan poistettua polttolaitteita haittaavia aineita.

Vesipuhdistamossa poistetaan kaasusta esimerkiksi rikkivetyä ja siloksaaneja. Kaasu on suositeltavaa kuivata ennen käyttöä. Yleisimmin kuivaukseen käytetään adsorptio- tai kondenssikuivaimia. Adsorptiokuivaimessa kaasu kulkee kuivausaineen läpi, johon vesimolekyylit sitoutuvat. Kuivausaineena käytetään kemikaaleja muun muassa silicageeliä ja aktivoitua alumiinioksidia. Kondenssikuivaimessa kaasu kylmenetään, jolloin vesihöyry kondensoituu eli tiivistyy. (Alfagy 2011.)

Muuhun kuin maakaasu tai ajoneuvokäyttöön tarkoitetusta biokaasusta on poistettava ainoastaan rikkivety. Rikkivety on haitallinen tuotantolaitteiden kestävyydelle, sillä se ruostuttaa laitteet ja happamoittaa moottoriöljyn. Rikkivedyn pitoisuus saa olla vain 100–500 mg/Nm<sup>3</sup>, jos biokaasua hyödynnetään sähkön- ja lämmöntuotantoon. Bio kaasun seassa on myös aina kosteutta, joten se jää vesisuodattimeen. Vesipuhdis-

tamon avulla voidaan biokaasusta poistaa 50 prosenttia rikkivedystä, joka on riittävä määrä normaalissa kaasun polttamisessa. (Kiviluoma-Leskelä 2010, 48–49.)

### 5.3 Rakennusprosessi

Aloitimme reaktorin suunnittelun 8.9.2010, jolloin kokoonnuimme Lammasahon tilalle. Ensimmäisessä kokoontumisessa tutkiskelimme erilaisia reaktorimalleja Internetistä. Samaisella kerralla kävimme läpi reaktorin rakentamiseen tarvittavia materiaaleja, mitä löytyy varastoistamme ja mitä meidän täytyy hankkia rakennusprojektiin. Teimme alustavat piirrokset, joiden pohjalta alkoi rakentaminen (Liite 1). Lisäksi aikataulutimme tekemisemme.



KUVA 5. Reaktoriin tarvittavat materiaalit (Tuomas Hyvönen)

Perjantaina 17.9 aloitimme reaktorin rakentamisen purkamalla vanha lämminvesivaraaja. Vesisäiliön lämpöeristys otettiin irti, jotta pääsimme työstämään kulmahiomakoneella säiliön kupua (Kuva 5). Teimme kulmahiomakoneella 110 millimetrisen aukon säiliön yläosaan täyttöputkea varten. Hitsasimme aukon ympärille vahvikepalan,

joka löytyi varastostamme (Kuva 6). Asensimme tiivisteliimalla halkaisijaltaan 110 mm korkillisen viemäriputken tehtyyn aukkoon (Kuva 7). Putki oli pituudeltaan 50 senttimetriä, ja se ulottui säiliön keskivaiheille.



KUVA 6. Valmis aukko vahvikkeineen (Tero Rönkkö)

Tekniset piirustukset piirsimme 11.10 ja samaisena päivänä selvitimme tarvittavat luvat Elintarviketurvallisuusvirastolta, lisälmen kunnan ympäristösuojelupäälliköltä sekä paloviranomaiselta. Soitimme myös Maaningan Halolan tutkimusasemalle ja kysyimme bakteerikannasta ja sen saannista. Saimme myös oivaa tietoa biokaasusta.



KUVA 7. Asennettu täyttöputki (Tuomas Hyvönen)

Seuraavana rakennuskertana 25.10 rakensimme reaktorille tukijalat trukkilavan päälle. Näin reaktorista tuli helposti liikuteltava. Lisäksi teimme tyhjennysputken halkaisijaltaan 50 mm putkesta, johon liitimme tiivisteliimalla muovisen hanan (Kuva 8). Hanan avulla saamme tyhjennettyä reaktoria.





KUVA 8. Valmis tyhjennysputki (Tero Rönkkö)

Sähkötyöt kävi suorittamassa alan ammattilainen 30.10. Tällöin reaktoriimme asennettiin voimavirtapistoke, joka mahdollistaa reaktorin käytön eri paikoissa. Samalla sähkömies varmisti, että kaikki sähköliitännät, releet ja termostaatti toimivat. Marraskuun ensimmäisenä päivänä teimme ulkokuoret sekä asensimme kaasuliittimet (Kuva 9). Kaasuliittimen avulla voimme ohjailla ja säädellä kaasun kulkua.





KUVA 9. Kaasuhana (Tuomas Hyvönen)

Vuorassimme reaktorin huolellisesti eriste villalla ja styroksilla 4.11. Ennen vuorausta kävimme läpi kaiken, jotta reaktorin ylösajo kävisi ongelmitta. Valmistelimme reaktorin (Kuva 10) ylösajoa varten, joka tapahtui 9.11. Aloitimme reaktorin ylösajon tiistaina 9.11.2010, jolloin alkusyötteenä oli 160 litraa MTT Maaningan Halolan biokaasu-reaktorin lieteymppeä. Lisäsimme valmiiseen ymppeeseen kolme kiloa esikuivattua säilörehua. Kaasun tuotanto alkoi sen verran kiivaasti, että kaasuvaramme kapasiteetti ei pystynyt varastoimaan kaikkea syntynyttä kaasua. Tästä seurasi, että vuorokauden päästä reaktorin syöteputken liitokset antoivat periksi ja syöteputki lensi pois aiheuttaen ensimmäisen kokeilun keskeyttämisen.



KUVA 10. Valmis reaktori (Tero Rönkkö)

Keskiviikkona 10.11 reaktoriin kertyi liian paljon painetta, jolloin syöteputki repesi liitoksistaan ja syötettä purkautui pitkiä seiniä. Reaktori sammutettiin vian vuoksi. Kaasua syntyi ennakoitua enemmän, jolloin kaasuvaramona toimivan renkaan tilavuus ei riittänyt vastaanottamaan kaikkea syntynyttä kaasua. Uusi ylösajo aloitettiin viikon päästä tiistaina 16.11.2010, jolloin reaktoriin lisättiin kolme kiloa esikuivattua säilörehua ja 20 litraa tuoretta lehmän lantaa. Kaasuntuotto alkoi jälleen kiivaana ja jouduimme taas keskeyttämään kokeen kaasun ylituotannon vuoksi. Samaisena päivänä yritimme polttaa syntynyttä kaasua, kuitenkin epäonnistuen yrityksessä. Emme löytäneet syytä kaasun palamattomuuteen, joten aioimme tutkia kaasun pitoisuudet.

Kaasun pitoisuudet mitattiin 25.11. Mittaus suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoululla Teija Rantalan johdolla. Lehmänlannasta ja säilörehusta teimme kuiva-aineanalyysit Kuopion technopoliksella 29.11 ja seuraavana päivänä kävimme samaisella laitoksel-

la orgaanisen aineksen määritykset. Nämäkin analyysit suoritettiin Teija Rantalan opastuksella.

Aloitimme kokeen uudelleen joulukuun ensimmäisenä päivänä. Reaktoria syötettiin samoilla määrillä kuin aikaisemminkin, eli kolme kiloa lantaa plus kolme kiloa säilörehua joka kolmas päivä. Koe kesti 21 päivää, viimeisenä päivänä tiistaina 22.12. otimme kaasunäytteen. Kokeen kesto oli 21 päivää, koska termofiilisen prosessin viipymäaika on noin 10–18 vuorokautta, joten tässä ajassa tuloksia pitäisi syntyä. (Raimovaara 2004, 4).

#### 5.4 Tutkimustuloksia

Tutkimme kaasun pitoisuudet torstaina 25.11.2010 koulullamme. Mittauksen suoritti ohjaava opettajamme Teija Rantala. Mittarina oli GA2000plus, jolla voidaan määrittää seuraavat parametrit; metaani, hiilidioksidi ja happi prosentteina kaasun tilavuudesta sekä myös rikkivedyn ja ammoniakkin esiintyminen todetaan. Mittaus kesti noin minuutin, jonka aikana mittari analysoi kaasun pitoisuudet. Kaasu sisälsi metaania 3,9 prosenttia, hiilidioksidia 66,1 %, happea 2,3 % ja muita kaasuja 27,7 %. Kaasu sisälsi rikkivetyä 17 ppm ja ammoniakkia ei ollut lainkaan. Ilmanpaine koehetkellä oli 1000 millibaaria ja lämpötila 19,4 celsiusastetta. Tulokset ovat esillä taulukossa 3.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kaasu sisälsi liian paljon hiilidioksidia ja liian vähän metaania. Tämän takia kaasu ei palanut kokeessamme. Tämä kielii siitä, että biokaasun tuotantoprosessi reaktorissamme oli ensimmäisessä vaiheessa, jolloin metaanintuottaminen bakteerien toimesta ei ollut vielä alkanut. Happea kaasu sisälsi oikean määrän (Taulukko 3) ja tästä voimme päätellä, että reaktorimme on ilmatiivis.

Jälkimmäisen biokaasukokeen analysoinnin suoritti Teija Rantala perjantaina 14.1.2011 Kuopion Technopolioksella. Kaasun pitoisuudet olivat seuraavanlaiset: metaania 4,3 prosenttia, hiilidioksidia 51,0 %, happea 5,4 % ja muita kaasuja 39,3 %. Mittaushetkellä lämpötila oli 18 celsiusastetta ja ilmanpaine 991 millibaaria. Kaasun pitoisuudet eivät olleet toivotunlaisia (Taulukko 3). Metaania olisi pitänyt olla 55–75 prosenttia ja vastaavasti hiilidioksidia 25–45 %. Hapen määrä oli oikeanlainen, eli vähäinen.

TAULUKKO 3. Kaasumittausten tulokset verrattuna optimitasoon

Kaasu	25.11.2010	14.01.2011	Optimi
Metaani, CH <sub>4</sub>	3,9 %	4,3 %	55 – 75 %
Hiilidioksidi, CO <sub>2</sub>	66,1 %	51,0 %	25 – 45 %
Happi, O <sub>2</sub>	2,3 %	5,4 %	jälkiä
Muita kaasuja	27,7 %	39,3 %	jälkiä
Rikkivety, H <sub>2</sub> S	17 ppm	-	0,1 – 0,5 %
Ammoniakki, NH <sub>3</sub>	-	-	-
Lämpötila	19,4 ° C	18 ° C	-
Ilmanpaine	1 000 mbar	991 mbar	-

Kahden kokeen vertailuna voidaan todeta, että suhteellinen metaanin määrä oli menossa oikeaan suuntaan (3,9 % / 4,3 %), kuitenkin muutos ei ollut merkittävä. Hiilidioksidin määrä oli pudonnut haluttuun suuntaan 15 prosenttiyksikköä (66,1 % / 51,0 %). Näihin vaikutti mädätysprosessin oikea viipymäaika, 21 päivää (Taulukko 4). Oikea viipymäaika vaikutti metaanibakteerien toimintaan, jolloin hiilidioksidin määrä laski, koska metaanibakteerit hyödynsivät hiilidioksidia metaanin tuottoon. Metaanibakteeri eivät kuitenkaan siedä happea, ja pienikin määrä voi estää bakteerien toiminnan ja bakteerien syntymisen.

Termofiilinen mädätysprosessi on herkkä lämpötilan vaihteluille, joten tämäkin voi vaikuttaa saatuihin tuloksiin, muun muassa säilörehu oli melko kylmää lisättäessä reaktoriin. Lämpötilaa piti yllä reaktorissa oleva sähkövastusten termostaatti. Termofiilinen prosessi on todella herkkä, jopa asteen heilahdus suuntaan tai toiseen voi aiheuttaa prosessin epäonnistumisen (Al Seadi ym. 2008, 25). Kokeen aikana reaktoriin pääsi ilmaa syötteitä lisättäessä, lietteen taso oli laskenut voimakkaasti prosessin vaikutuksesta, jolloin syöteputken alareuna oli ylempänä lietteen pinta. Tällaiseen ongelmaan ei törmätty reaktion suunnitteluvaiheessa, joten tähän ei osattu varautua. Todennäköisesti syötteen neste haihtui kaasuhöyryn mukana pienentäen syötteen tilavuutta.

## 5.5 Mitä tehtäisiin toisin

Biokaasututkimuksen aikana tuli ilmi ongelmia reaktorin toimivuudessa. Suurin ongelma oli kaasuväaran pieni tilavuus. Emme osanneet arvioida syntyvän kaasun

määrää, ja jouduimme laskemaan kaasua ulkoilmaan. Metaanin tuoton kannalta ratkaisevin ongelma oli, että happea pääsi reaktoriin massaa lisättäessä. Tähän ratkaisuna olisi syöteputken toinen sijainti, jolloin putken alareuna menisi reaktorin pohjalle asti. Tällöin syötemassan pinnan vajoaminen ei olisi ongelma. Pitempi aikaisessa käytössä reaktorin massan sekoitin olisi ollut tarpeen, jolla massan sakkaantuminen olisi voitu välttää ja olisi saatu aikaan tasainen syötemassa.

Lämpötilan tarkkailuun olisi voinut laittaa digitaalisen lämpötilamittarin, jolloin olisi voitu saada enemmän informaatiota reaktorin sisäisistä tapahtumista. Materiaalin lisääminen reaktoriin osoittautui hieman hankalaksi korkean sijainnin vuoksi, joten syöteputken pitäisi olla matalammalla. Pienen reaktorikoon vuoksi reaktori olisi voinut toimia paremmin mesofiilisella lämpötilalla termofiilisen sijaan, koska lämpötilan vaihtelut ovat pienessä mittakaavassa suuria. Syötettävä materiaali olisi hyvä murskata ennen reaktoriin syöttämistä, jolloin ilma ei pääsisi syötteen mukana reaktoriin ja syöte olisi notkeampaa lisättäväksi. Reaktorin syötteiden pinnan korkeuden tarkkailuun olisi hyvä olla läpinäkyvä ikkuna reaktorin kyljessä.

## 6 LAITTEISTON HYÖDYNTÄMINEN

### 6.1 Laskelmat

Seuraavissa laskelmissa selvitämme, paljonko reaktori voisi teoreettisesti käsittelemään lantaa sekä säilörehua ja tuottamaan biokaasua. Laskemme myös paljonko meidän oman koejakson aikana olisi tullut biokaasua, mikäli reaktori olisi toiminut toiveiden mukaisesti. Lisäksi laskemme reaktorin tarvitseman viipymääjan maksimimäärillä syötettäessä sekä myös oman kokeemme syötemäärillä. Tarvittavat kaavat laskelmia varten otimme Biogas handbook – teoksesta (Al Seadi ym. 2008, 28).

#### 6.1.1 Syötettävä määrä

Biokaasureaktoriin syötettävän materiaalin määrän voimme laskea, kun tiedämme orgaanisen aineksen kuormituksen, lannan tai rehun orgaanisen aineksen pitoisuusprosentin ja reaktorin tilavuuden (Al Seadi ym. 2008, 28). Orgaanisen aineksen kuormitus on normaalisti 2,5 – 3,5 kilogrammaa päivässä ja yhteiskäsittelyreaktoreissa, joissa käsitellään sekä lantaa että rehua, kuormitus voi olla 5,0 – 7,5 kg orgaanista ainesta päivässä. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 36). Lannan ja rehun orgaanisen aineksen pitoisuusprosentit laskimme kokeidemme perusteella, jotka teimme Kuopion Technopoliksella 30.11.2010. Teimme kokeet standardin SFS 3008 menetelmän mukaan. Selvitimme silloin kuiva- (TS- %) ja orgaanisen aineen (VS- %) pitoisuudet lanta- ja rehunäytteistä. Laskelmat ovat esillä liitteessä 2. Reaktorin tilavuus on 200 litraa ja materiaalin tilavuus on 180 litraa.

$m$  = Syötetyn lannan tai rehun määrä (kg/päivä)

$Br$  = Orgaanisen aineksen kuormitus (kg/d\*m<sup>3</sup>)

$c$  = Lannan tai rehun orgaanisen aineksen pitoisuus

$V_r$  = Reaktorin materiaalin tilavuus kuutioina (m<sup>3</sup>)

$$m = \frac{Br * V_r}{c}$$

Syötetyn lannan määrä:

$$m_L = \frac{2,5 * 0,18}{0,1114} = 4,039 \sim 4,04 \text{ kg/d}$$

Lantaa syötetään kuukaudessa:

$$4,04 \text{ kg/d} * 30 \text{ d} = 121,18 \text{ kg.}$$

Syötetyn rehun määrä:

$$m_R = \frac{2,5 * 0,18}{0,3243} = 1,39 \sim 1,4 \text{ kg/d}$$

Säilörehua syötetään kuukaudessa:

$$1,4 \text{ kg/d} * 30 \text{ d} = 42 \text{ kg}$$

#### 6.1.2 Biokaasun tuotto

Lannasta voidaan saada biokaasua  $20 \text{ m}^3$  per lantatonni (Hämäläinen & Tukia 2007, 15). Tästä voidaan päätellä, että yhdestä lantakilosta saadaan 20 litraa kaasua. Kun reaktoria lastataan 4,04 kilogrammalla lantaa päivässä, biokaasua saadaan tuotettua noin 2 400 litraa kuukaudessa. Tästä metaanin osuus on noin 60 prosenttia eli noin 1 500 litraa.

Biokaasua:

$$4,04 \text{ kg/d} * 20 \text{ l} = 80,8 \sim 81 \text{ litraa/d}$$

$$81 \text{ l/d} * 30 \text{ d} = 2 430 \text{ litraa} \sim 2,43 \text{ m}^3$$

Metaania:

$$2,43 \text{ m}^3 * 60 \% = 1,46 \text{ m}^3 \sim 1,5 \text{ m}^3$$

Säilörehusta voidaan saada enemmän biokaasua tonnia kohden kuin lannasta. Aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin nojaten vuonna 2010 valmistuneesta säilörehusta saadaan tuotettua metaania  $427,77 \text{ m}^3$  orgaanisen aineksen tonnia kohden (Rantala

2010, 5). Säilörehusta saadaan tuotettua noin  $6 \text{ m}^3$  metaania kuukaudessa, kun rehua syötetään reaktoriin 1,5 kilogrammaa päivässä.

Metaania:

$$1,5 \text{ kg/d} * 0,3243 \text{ VS \%} * 0,42777 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 0,208 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$0,208 \text{ m}^3/\text{d} * 30 \text{ d} = 6,242 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \sim 6 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

Kun reaktoria syötetään maksimimäärällä syötteitä päivässä, metaania saadaan tuotettua lannalla noin  $1,5 \text{ m}^3$  ja säilörehulla  $6 \text{ m}^3$ . Meidän kokeessamme reaktoria syötettiin sekä säilörehulla että lannalla. Syötimme reaktoria 20 päivän ajan joka kolmas päivä, laittaen rehua laskennallisesti päivää kohden yhden kilogramman verran ja lantaa 7,65 kilogrammaa. Orgaanista ainesta tuli näin ollen päivässä rehulla 0,3243. Näistä luvuista voimme laskea kaasun tuoton edellisen esimerkin tapaan.

Biokaasua lannasta:

$$7,65 \text{ kg/d} * 20 \text{ l} = 153 \text{ litraa/d}$$

$$153 \text{ l/d} * 30 \text{ d} = 4577,25 \text{ litraa} \sim 4,6 \text{ m}^3$$

Metaania:

$$4,6 \text{ m}^3 * 60 \% = 2,76 \text{ m}^3$$

Säilörehusta saadaan metaania:

$$0,3243 \text{ VS kg/d} * 427,77 \text{ l / kg CH}_4 = 138,726 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$138,726 \text{ m}^3/\text{d} * 30 \text{ d} = 4161 \text{ l CH}_4 \sim 4,2 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

Saimme syötetyllä materiaalilla tuotettua metaania laskennallisesti 6,96 kuutiometriä. Emme kuitenkaan päässeet tähän laskennalliseen tavoitteeseen, koska reaktorimme mädätysprosessi ei ollut halutunlainen. Todellinen metaaninmäärä oli vain 4,3 prosenttia biokaasusta.



### 6.1.3 Viipymäaika (HRT = Hydraulic retention time)

Viipymäaika tarkoittaa sitä aikaa, minkä materiaali on viettänyt reaktorissa. Viipymäaikaan vaikuttavat reaktorin koko ja syötetyn materiaalin tilavuus. Lisäksi termofiilisellä prosessilla viipymäaika on pienempi kuin mesofiilisella (Taulukko 4).

TAULUKKO 4. Viipymäaikataulukko (Al Seadi ym. 2008, 23)

LÄMPÖTILA-ALUE	PROSESSIN LÄMPÖTILA	VIIPYMÄAIKA
Psykrofiilinen	< 20 °C	70 – 80 päivää
Mesofiilinen	30 – 42 °C	30 – 40 päivää
Termofiilinen	43 – 55 °C	15 – 20 päivää

Viipymäaika voidaan laskea, kun tiedetään reaktorin koko ( $V_r = \text{m}^3$ ) ja reaktoriin syötetyn materiaalin tilavuus ( $V = \text{m}^3/\text{d}$ ) (Al Seadi ym. 2008, 28). Lannalla tilavuuspaino on yksi litra yhtä kilogrammaa kohden. Lannan tuorepaino on 4,49 kilogrammaa, joten sen tilavuus on 4,49 litraa. Rehun tilavuus mitattiin ottamalla kuusi erilaista näytettä litran astialla, jossa oli litran verran rehua. Näytteet punnittiin digitaalisella keittövaa'alla ja tuloksista laskettiin keskiarvo. Tulokseksi saatiin, että yksi rehulitra painaa 217 grammaa. Yksi rehukuutio painaa 217 kilogrammaa ja ratkaisimme, montako kuutiota on yksi 1,5 kilogrammaa rehua. Seuraavassa kaavassa laskettiin syötetyn rehun tilavuus ratkaisemalla  $x$  ristiin kertomalla.

Ratkaistaan syötetyn rehun tilavuus:

$$\frac{1\text{m}^3}{217\text{kg}} = \frac{x}{1,5} \quad = \quad 217\text{kg} * x = 1,5 \text{ kg} * 1\text{m}^3$$

$$x = 1,5 \text{ kgm}^3 / 217 \text{ kg} = 0,007 \text{ m}^3 \sim 7 \text{ l}$$

Lasketaan syötetyn materiaalin (rehu+lanta) viipymäaika:

$$V_r = 0,18 \text{ m}^3$$

$$V = 0,007 \text{ m}^3/\text{d} + 0,00449 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{HRT} = V_r / V$$

$$= 0,18 \text{ m}^3 / (0,00449 \text{ m}^3 + 0,007 \text{ m}^3/\text{d}) = 15,6 \text{ d}$$

Syötetyn lannan ja rehun maksimi päiväannoksen viipymäaika reaktorissamme on noin 15 ja puoli päivää. Seuraavaksi laskemme, minkälainen viipymäaika on meidän kokeessamme käytetyillä määrillä. Lantaa laitoimme päivässä 7,65 kilogrammaa ja säilörehua 1 kg. Syötetyn lantamäärän 7,65 kg tilavuus on 7,65 litraa ja seuraavassa kaavassa ratkaistaan syötetyn rehun tilavuus.

Ratkaistaan syötetyn rehun tilavuus:

$$\frac{1\text{m}^3}{217\text{kg}} = \frac{x}{1,0} \quad = \quad 217\text{kg} * x = 1,0\text{ kg} * 1\text{m}^3$$

$$x = 1,0\text{ kgm}^3 / 217\text{ kg} = 0,0046\text{ m}^3 \sim 4,6\text{ l}$$

Lasketaan syötetyn materiaalin (rehu+lanta) viipymäaika:

$$V_r = 0,18\text{ m}^3$$

$$V = 0,0046\text{ m}^3/\text{d} + 0,00765\text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{HRT} = V_r / V$$

$$= 0,18\text{ m}^3 / (0,0046\text{ m}^3 + 0,00765\text{ m}^3/\text{d}) = 14,7\text{ d}$$

Kokeemme aikana syötetyn materiaalin viipymäaika oli noin 15 päivää.

## 6.2 Lanta-analyysi

Lanta-analyysissä käy ilmi lantanäytteen liukoinen ja kokonaistyyppi, fosforin ja kaliumin kokonaispitoisuus sekä kuiva-aineprosentti. Lähetimme syötetystä lannasta lanta-analyysin ennen koetta ja kokeen jälkeen lähetimme lopputuotteesta lanta-analyysin. Vertailemme tuloksia keskenään taulukossa 5.

## TAULUKKO 5. Lanta-analyysien vertailu

Nimi	Ravinteita tonnissa (Syöte)	Ravinteita tonnissa (Mädäte)	Erotus
Typpi (N) liukoinen	2,0 kg/tn	2,5 kg/tn	+0,5 kg/tn
Typpi (N) kokonaispit.	7,4 kg/tn	7,2 kg/tn	-0,2 kg/tn
Fosfori (P) kokonaispit.	1,2 kg/tn	2,0 kg/tn	+0,8 kg/tn
Kalium (K) kokonaispit.	5,1 kg/tn	0,5 kg/tn	-4,6 kg/tn
Kuiva-aine %	21,5 %	23,2 %	-

Liukoinen typpi parani 0,5 kg tonnia kohden ja kokonaistyppi laski 0,2 kg tonnia kohden. Fosforin kokonaispitoisuus nousi 0,8 kg/tn ja suurin ero tapahtui kaliumin kohdalla, joka laski 4,6 kg/tn. Kuiva-aineen suhteen suurta eroa ei syntynyt.

Jos reaktori käsittelisi lantaa ympäri vuoden täydellä kapasiteetilla, tällöin se pystyisi käsittelemään  $4,04 \text{ kg} \cdot 365 \text{ d} = 1475 \text{ kg}$  vuodessa. Syötetyssä lannassa oli 2,0 kg/tn ja mädätetyssä lannassa 2,5 kg/tn liukoista typpeä. Tällöin normaalista lannasta saataisiin liukoista typpeä 2,95 kg vuodessa ja prosessin läpikäyneestä lannasta 3,69 kg. Parannusta näiden välillä on 0,74 kg.

Fosforin määrä kasvaa samalla syötemäärällä 1,770 kg:sta 2,95kg:aan, parannukseksi 1,18 kilogrammaa. Kalium puolestaan laski 7,52 kg:sta 0,74 kg:aan, erotusta oli 6,78 kilogrammaa. Taloudellista vaikutusta ei näin pienissä määrissä tule, joten jätämme tämän kustannuslaskelmassa.

### 6.3 Kustannuslaskelma

Kustannuslaskelmassa aiomme selvittämään kuinka paljon lantaa ja muita syötteitä reaktorimme pystyy käsittelemään vuodessa. Aiomme myös laskea kuinka paljon energiaa reaktorin toiminta vaatisi samaisena jaksona. Tästä laskemme vastaako kaasutuotto aiheutuneisiin lämmityskuluihin.

Jos reaktorimme pyörisi täydellä teholla ympäri vuoden, se pystyisi käsittelemään tuorelantaa päivässä 4,04 kilogrammaa ja vuodessa noin 1 470 kilogrammaa. Kun

yhdestä lantakilosta saadaan 20 litraa biokaasua, vuosittaisesta lantamäärästä saadaan biokaasua 29,4 m<sup>3</sup>. Metaania kaasu sisältää keskimäärin 60 %, joten vuodessa saimme tuotettua metaania noin 17,6 m<sup>3</sup>. Metaanin lämpöarvo on noin 10 kWh kuutiota kohden, joten metaanista saataisiin 176 kWh (Hämäläinen & Tukia 2007, 15). Kuutiometri metaania vastaa yhtä litraa kevyttä polttoöljyä (Lehtomäki ym. 2007, 45).

Säilörehua reaktori taasen pystyisi käsittelemään päivässä 1,4 kg ja vuodessa noin 511 kg. Tutkimuksissa on todettu, että yhdestä tuoresäilörehutonnista saadaan 68 m<sup>3</sup> metaania (Rantala 2010, 5). Täydellä lastauksella reaktori pystyisi tuottamaan säilörehusta noin 35 m<sup>3</sup> metaania. Säilörehusta tuotetun metaanin lämpöarvo on 350 kWh.

Reaktoria lastattaisiin todellisuudessa päivän maksimikapasiteetista puoliksi lannalla ja puoliksi säilörehulla. Silloin reaktoriin laitettaisiin noin 2,02 kg lantaa ja säilörehua noin 0,7 kg. Tällöin vuodessa lantaa menisi noin 737 kg ja säilörehua noin 255 kg. Laskennallisesti lannasta saataisiin metaania noin 8,8 kuutiometriä ja säilörehusta noin 17,5 m<sup>3</sup>. Näiden yhteenlaskettu lämpöarvo on 263 kWh.

Vertaamme tuotettua biokaasua maakaasuun, koska ne ovat ominaisuuksiltaan suurin piirtein samanlaisia. Maakaasu sisältää metaania Suomen kaasuyhdistyksen Internet-sivujen maakaasukäsikirjan mukaan 98 prosenttia, kun taas biokaasu sisältää noin 60 %. Yhden maakaasukilon hinta Gasum maakaasuyhtiön Internet-sivujen mukaan on 1,24 euroa. Maakaasun tiheys 0,72 kg kuutiometriä kohden ja tehollinen lämpöarvo on 13,9 kWh/kg (Suomen kaasuyhdistys 2011). Yksi kuutio maakaasua painaa 0,72 kg, joten meidän tuottamamme metaanimäärä 29 m<sup>3</sup> painaa noin 21 kg. Näin ollen sen arvo on maakaasun nykyisillä hinnoilla laskettuna noin 26 euroa.

Läminvesivaraaja kuluttaa vuodessa keskimäärin noin 1 000 kWh (Turku energia 2011). Tämän hetken sähköhinnoilla yksi yleissähkö kilowattitunti maksaa Savon voimalla 10,41 senttiä (Savon voima 2011). Näin ollen biokaasureaktorin lämmittäminen tulisi maksamaan 104,1 euroa vuodessa. Lisäksi reaktorin rakennuskustannukset olivat suhteellisen minimaaliset johtuen siitä, että käytimme mahdollisimman paljon kierrätysmateriaalia. Ainoat hankinnat, jotka jouduimme tekemään reaktorin varten, olivat styroksi, syöttöputki, tiivistemassa, LVI-tarvikkeet ja kaasuletku. Näiden yhteishinta oli noin 59 euroa.

Reaktorin kustannuslaskelmataulukossa (Taulukko 6) käy ilmi reaktorin tuotot ja menot. Reaktorin käyttö menee tappiolle noin 81 eurolla vuotta kohden. Lisäksi reaktorin

kustannuksia lisäävät reaktorin rakentamiseen menneet kulut, joita tuli 59 euron edestä. Kaikkiaan, kun vähennetään tuotoista kaikki syntyneet menot, jäämme tappi-  
olle 140 euroa.

TAULUKKO 6. Reaktorin kustannuslaskelma

Materiaali	Vuodessa	Hinta	Yht. €
	<i>Tuotot</i>		
Metaania	26 m <sup>3</sup> /v	0,89 €/m <sup>3</sup>	23 €
	<i>Menot</i>		
Kulutus	1 000 kWh/v	10,41 snt/kWh	104 €/v
Yht.			- 81
	<i>Materiaalihankinnat</i>		
Styroksi			19 €
Syöttöputki ja tiivistemassa			22 €
LVI-tarvikkeet ja kaasuletku			18 €
<b>Yhteensä</b>			- 140

## 7 PÄÄTÄNTÖ

Biokaasun tuottaminen edullisesti ei ole mahdotonta, mutta biokaasun tuottamisen saaminen kannattavaksi on eri asia. Laitteistojen koko pitää olla riittävän suuri ja käsiteltävien materiaalien määrä riittävä, jotta tuotot peittäisivät käyttökustannukset. Suomessa ongelmaksi muodostuvat suuret lämmityskustannukset pitkän kylmän jakson vuoksi. Vastaavaa ongelmaa ei ole lähellä päiväntasaajaa olevissa maissa, jolloin suurin osa kustannuksista koostuu vain reaktorin rakentamisesta.

Tällaisen pienikokoisen reaktorin hyödyntäminen on vaikeaa lämmityskustannusten vuoksi. Reaktorin lämmittäminen sähköllä ei ole taloudellisesti kannattavaa, sillä kaasua ei saada niin paljoa, että kaasun tuotot peittäisivät syntyvät sähkömenot. Pienellä reaktorilla voisi olla enemmän käyttöä esimerkiksi ruoantähteiden sijoituspaikkana, kompostin sijaan. Tällöin ruoantähteistä saataisiin hyvää lannoitetta kasvimaalle. Syntyneen kaasun voisi käyttää taasen kaasu-grillin käyttöön. Käyttöaikana olisi kesä, jolloin erillistä lämmitystä ei tarvittaisi, vaan lämmin ulkoilma ja auringon lämpöenergia hoitaisi lämmittämisen ja prosessi kävisi psyko-fiilisellä lämpötilalla.

Yksi reaktorimme käyttömuodoista voisi olla hygieniasointi, sillä se pystyy toimimaan korkeassa (70 celsius astetta) lämpötilassa, jolloin se pystyy tuhoamaan eri bakteerikantoja, kuten salmonella (Evira 2011). Reaktorin kapasiteetti on kuitenkin suhteellisen pieni, joten suurien määrien hygieniasointi olisi hidasta ja käytännössä mahdotonta. Prosessin käynyt lanta muuttui myös liukoisen typen osalta merkittävästi paremmaksi, jolloin sen lannoitusarvo on kasville käyttökelpoisempi. Pienellä reaktorilla ei käytännössä saada kovin suuria taloudellisia hyötyjä lannoituksen kannalta. Jos reaktori pystyisi käsittelemään isomman määrän lietettä, niin silloin myös lannoituksen kannalta voitaisiin saada taloudellisesti merkittäviä hyötyjä, koska ei tarvitsisi ostaa niin paljoa väkilannoitteita.

Tällaisen pienen reaktorin rakentaminen ja ylläpito on enemmän harrastustoimintaa kuin rahantekoa. Omalle työlle on edes turha ruveta laskemaan palkkaa, sillä tappiollisesta tuotannosta ei palkkaa maksella. Harrastustoimintana tämä on oivallista, sillä harrastuksiin saa mennä rahaa. Kaupalliseen tarkoitukseen reaktoristamme ei ole vielä, koska se ei ole toimintavarma.

## LÄHTEET

Alfagy. 2011. Biogas drying. [Viitattu 23.2.2011]. Saatavissa: <http://alfagy.com/chp-cogeneration-combined-heat-and-power-biogas-drying>

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T. Volk, S. & Janssen, R. 2008. Biogas Handbook. University of Southern Denmark Esbjerg.

Biokaasu. Puhdasta uusiutuvaa energiaa. Esite. Suomen Biokaasuyhdistys ry, Helsinki. 2008

Blaschek, H., Ezeji, T. & Scheffran, J. 2010. Biofuels from agricultural wastes and Byproducts. Blackwell Publishing, USA.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2010. Iisalmi 11.10.2010. Puhelinkeskustelu.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2011. Laitoshyväksyntä. [Viitattu 16.2.2011]. Saatavissa:

[http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely\\_ja\\_tuotanto/lannoitevalmisteet/valmistus/laitoshyvaksynta/](http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely_ja_tuotanto/lannoitevalmisteet/valmistus/laitoshyvaksynta/)

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2011. Omavalvontasuunnitelma. [Viitattu 14.2.2011]. Saatavissa:

<http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/omavalvonta/omavalvontasuunnitelma/>

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2011. Salmonella. [Viitattu 2.3.2011]. Saatavissa:

[http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia\\_aiheuttavia\\_bakteereja/salmonella/](http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia_aiheuttavia_bakteereja/salmonella/)

Gasum Oy. Vertailulaskuri. 2011. [Viitattu 11.2.2011]. Saatavissa:

<http://www.gasum.fi/liikenne/Sivut/Vertailulaskuri.aspx>

Hämäläinen, S., Tukia, J. 2007. Biodieselin, biokaasun ja ruokohelven tuotannon kannattavuus maataloilla keski-suomessa. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu. [Viitattu 10.11.2010]. Saatavissa: [http://www.biokaasufoorumi.fi/\\_ACC/\\_Components/ACC-DigiStore/Preview.asp?fileID=124738&basketID=584](http://www.biokaasufoorumi.fi/_ACC/_Components/ACC-DigiStore/Preview.asp?fileID=124738&basketID=584)

Jalonen, P. 2008. Biokaasu mikroturbiinilla sähköksi ja lämmöksi. Koneviesti. 2/2008, 64–66.

Jyväskylän yliopisto. 2008. YVA-asetus. [Viitattu 28.2.2011]. Saatavissa: <http://ympportti.jyu.fi/w2-ymparistovaikutusten-arvioiminen/w2-7-hiukan-juridiikkaa/w2-7-hiukan-juridiikkaa-sivut/sc2329-2-yva-asetus/?searchterm=None>

Kiviluoma-Leskelä, L. 2010. Biokaasun tuottaminen ja hyödyntäminen Lappeenrannassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [Viitattu 25.11.2010]. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/63152/nbnfi-fe201006212074.pdf?sequence=3>.

Koivistoinen, Osmo 2010. Ympäristösuojelupäällikkö. Iisalmen kaupunki. Iisalmi 11.10.2010. Puhelinkeskustelu.

Laakkonen, Esko 2010. Palopäällikkö. Iisalmen paloasema. Iisalmi 11.10.2010. Puhelinkeskustelu.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 10.6.1994/468. Finlex. [Viitattu 28.2.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940468>

Laki uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetun sähkön tuotantotuesta 13.12.2010/1396. Finlex. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101396>

Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – Raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. [Viitattu 25.11.2010]. Saatavissa: <http://www.biokaasufoorumi.fi/>

Luoma, H., Peltonen, S., Helin, J. & Teräväinen, H. 2006. Maatilayrityksen bioenergian tuotanto. Tieto tuottamaan 115. Kirjapaino Otava Oy. Keuruu.

Maaseutuvirasto MAVI. 2011. Maatalouden investointitukikohteet 2011. [Viitattu 16.2.2011]. Saatavissa: [http://www.mavi.fi/attachments/mavi/maaseudunrahoitus/5uQkLMh/MAATALOUDEN\\_INVESTOINTITUKIEN\\_TUKIMUODOT\\_JA\\_TUEN\\_ENIMMAISMAARAT\\_2011.pdf](http://www.mavi.fi/attachments/mavi/maaseudunrahoitus/5uQkLMh/MAATALOUDEN_INVESTOINTITUKIEN_TUKIMUODOT_JA_TUEN_ENIMMAISMAARAT_2011.pdf)



Madigan M., & Martinko J. 2006. Brock Biology of Microorganisms. 11. uudistettu painos. USA: Pearson Prentice Hall

Mykkänen, E. 2008. Biokaasun tuottaminen säilörehusta lehmänlantaa käsittelevällä biokaasulaitoksella. Jyväskylän yliopisto. [Viitattu 16.2.2011]. Saatavissa: [https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18715/URN\\_NBN\\_fi\\_jyu-200806265558.pdf?sequence=1](https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18715/URN_NBN_fi_jyu-200806265558.pdf?sequence=1)

Pelastussuunnitelma. 2011. [Viitattu 14.2.2011]. Saatavissa: <http://www.pelastussuunnitelma.fi/>

Raimovaara, M. 2004. Biokaasun tuotanto ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä. Hämeen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 14.12.2010]. Saatavissa: <http://midgard1.nebula.fi/attachment/ee246cbb04c1da363116122aebb56633/19264351e78bffb4327fe0f8f522694/>.

Rantala, T. 2010. Nurmirehun biokaasutuskokeiden tuloksia, Tuore rehu vs. vanhentuneet rehut. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Savon voima Oy.Sähköhinnat. 2011. [Viitattu 11.2.2011]. Saatavissa: [http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/Sahkonhinnat\\_01012011.pdf](http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/Sahkonhinnat_01012011.pdf)

Suomen kaasuyhdistys. 2011. Maakaasukäsikirja. [Viitattu 11.2.2011]. Saatavissa: [www. http://www.maakaasu.fi/kirjat/maakaasukasikirja/maakaasun-koostumus-ja-ominaisuudet](http://www.maakaasu.fi/kirjat/maakaasukasikirja/maakaasun-koostumus-ja-ominaisuudet)

Taavitsainen, T. 2006. Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D 5/2006. 1. painos.

Turku Energia Oy. Energiaopas. 2011. [Viitattu 11.2.2011]. Saatavissa: [www.turkuenergia.fi](http://www.turkuenergia.fi)

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2011. Kemikaali-ilmoitus. [Viitattu 14.2.2011]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Kemikaalitietojen-ilmoittaminen/>

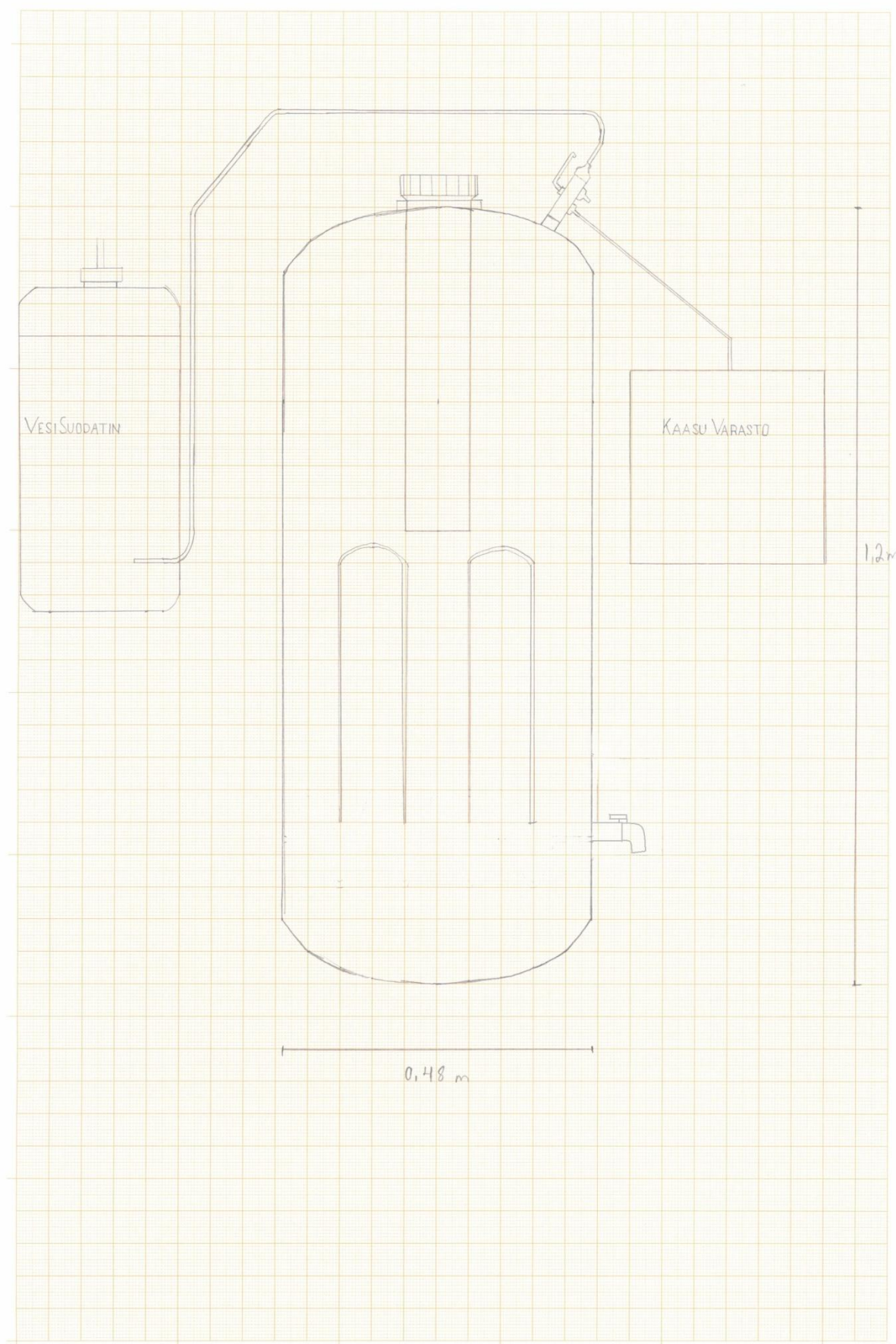
Vilkka, H., Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Helsinki: Tammi.

Viranomaisluvut. 2011. Suorakanava Oy. [Viitattu 14.2.2011]. Saatavissa: [www.rakennuslupa.fi](http://www.rakennuslupa.fi)

Valtion ympäristöhallinto. 2011. Lietteen mädätys. [Viitattu 16.2.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6604&lan=fi>

Valtion ympäristöhallinto. 2011. Ympäristölupa. [Viitattu 14.2.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1311&lan=fi>

TEKNINEN PIIRROS REAKTORISTA



# TECHNOPOLIKSELLA TEHTYJEN KOKEIDEN TULOKSET

	Materiaali+upokas (mg)	Upokkaan paino (mg)	Materiaalin paino (mg)	Kuiva-aine+upokas (mg)	Kuiva-aine (mg)	TS-%
1 lanta	59264	26798,88	32465,12	30961,92	4163,04	12,82312
2 lanta	55977,38	25485,75	30491,63	29436,99	3951,24	12,95844
3 lanta	59291,15	25595,5	32695,65	30779,13	4183,63	12,79568
4 SR	30867,54	26540,16	4227,38	28713,45	1373,29	32,48561
5 SR	29530,2	25889,6	2640,6	27910,91	1021,31	38,67719
6 SR	33186,35	28381,64	5104,71	29961,07	1879,43	36,81757

Tarjotin säiliö rehu (g)		Lannan TS-% keskiarvo
Tarjottimen paino	412,9	12,85907837
Rehun paino	91,43	
Yht	504,33	Rehun TS-% keskiarvo
		34,9492643

Kuivattu rehu+tarjotin (g)	441,99
Kuiva-aine	29,09
TS-%	31,81669056

	Poistunut vesi (mg)	Hehkutusjäännös+ kippo (mg)	Hehkutusjäännös (mg)	VS-%
1 Lanta	28302,08	27358,07	559,19	11,10068
2 Lanta	26540,39	26007,1	521,35	11,24863
3 Lanta	28512,02	27151,41	555,91	11,09542
4 SR	2854,09	26769,49	129,33	29,42626
5 SR	1619,29	26980,32	90,72	35,24161
6 SR	3225,28	28295,27	213,63	32,63261

Lannan VS-% keskiarvo  
11,14824389

Rehun VS-% keskiarvo  
32,43349457



## LANTA-ANALYYSI SYÖTETYSTÄ LANNASTA



VILJAVUUSPALVELU OY

s-posti: neuvonta@viljavuuspalvelu.fi

LANTA-ANALYYSI

2/3

Nimi	Kuivikelanta		
	kuiva-aineessa	ravinteita tonnissa	ravinteita kuutiossa
Typpi (N), liukoinen	9,3 g/kg ka	2,0 kg/tn	1,5 kg/m3
Typpi (N), kokonaispit. a)	34 g/kg ka	7,4 kg/tn	5,4 kg/m3
Fosfori (P), kokonaispit. a)	5,7 g/kg ka	1,2 kg/tn	0,89 kg/m3
Kalium (K), kokonaispit. a)	24 g/kg ka	5,1 kg/tn	3,7 kg/m3
Kuiva-aine	-	21,5 %	-
Tilavuuspaino	-	-	730 kg/m3

a) -Merkityt määritykset on tehty FINAS:in ISO/IEC 17025 mukaisesti akkreditoimalla menetelmällä.  
Tulos koskee vain meille tullutta näytettä.

## LANTA-ANALYYSI LÄPIKÄYNEESTÄ LANNASTA



VILJAVUUSPALVELU OY  
s-posti: neuvonta@viljavuuspalvelu.fi

LANTA-ANALYYSI

1/2

Nimi	Kuivikelanta		
	kuiva-aineessa	ravinteita tonnissa	ravinteita kuutiossa
Typpi (N), liukoinen	11 g/kg ka	2,5 kg/tn	1,0 kg/m3
Typpi (N), kokonaispit. a)	31 g/kg ka	7,2 kg/tn	2,9 kg/m3
Fosfori (P), kokonaispit. a)	8,8 g/kg ka	2,0 kg/tn	0,82 kg/m3
Kalium (K), kokonaispit. a)	2,2 g/kg ka	0,5 kg/tn	0,2 kg/m3
Kuiva-aine	-	23,2 %	-
Tilavuuspaino	-	-	400 kg/m3

a) -Merkityt määritykset on tehty FINAS:in ISO/IEC 17025 mukaisesti akkreditoimalla menetelmällä.  
Tulos koskee vain meille tullutta näytettä.

---

[www.savonia.fi](http://www.savonia.fi)

